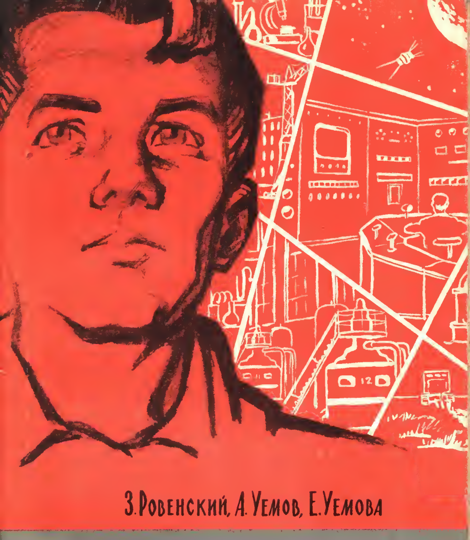


З. Ровенский, А. Уемов, Е. Уемова

МАШИНА И МЫСЛЬ



З. Ровенский, А. Уемов, Е. Уемова

МАШИНА И МЫСЛЬ

(ФИЛОСОФСКИЙ ОЧЕРК О КИБЕРНЕТИКЕ)

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ПОЛИТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА · 1960

Неугомонная человеческая мысль все глубже проникает в тайны природы. Люди создали в помощь себе удивительные машины, которые управляют работой станков и заводов, выполняют сложные вычисления, решают логические задачи.

Чтобы все это делать, человек должен мыслить. Но машина может достичь тех же целей лучше и быстрее человека. Означает ли это, что машина мыслит? А если нет, то почему она может решать такие задачи, для выполнения которых человеку необходимо мыслить? Есть ли предел развитию «думающих» машин? Может ли со временем машина полностью заменить человека во всех областях его деятельности?

Философскому рассмотрению этих вопросов посвящена настоящая брошюра. Она знакомит с историей возникновения «думающих» устройств, с основными понятиями науки об этих устройствах — кибернетики. Она может быть использована как введение к чтению более специальной литературы по кибернетике.

Брошюра написана интересно, живо, популярно и рекомендуется для массового читателя.

Стремясь облегчить и усовершенствовать свой труд, человек создал и поставил себе на службу множество самых разнообразных машин. Они сделали его руки и ноги в сотню и тысячу раз сильнее, неизмеримо улучшили зрение и слух. Эти замечательные изобретения человеческой мысли уже никого не поражают и воспринимаются как обычные.

Но в последние годы появились такие удивительные автоматические устройства, которые не только заменяют человеку руки и ноги, глаза и уши, но и облегчают ему умственный труд. Если машины-автоматы, сконструированные за несколько последних лет, увидит в действии человек, который был оторван от развития науки, то они покажутся ему чем-то сверхъестественным. В самом деле, машина управляет работой сложнейших станков и целых предприятий. Она направляет движение корабля, самолета и космической ракеты, молниеносно производит сложнейшие вычисления, переводит с одного языка на другой, отвечает на вопросы и ставит диагноз болезни, играет в шахматы и учится управлять домной, заменяет рабочего, бухгалтера, инженера и др. Список таких «чудес» можно продолжить.

На чем же основана работа этих устройств, обычно называемых автоматическими? Разобраться в принципиальной стороне этого дела, раскрыть основные положения науки, изучающей такие устройства,— кибернетики, рассмотреть философские проблемы, связанные с развитием кибернетики,— все это составляет задачу данной брошюры. Многие другие вопросы — техническое устройство автоматов, социальные последствия, к которым приводит развитие автоматизации, и т. д.— здесь не рассматриваются. Ответ на них читатель найдет в многочисленных работах по кибернетике, которые появились в последнее время.

I. ИСТОРИЯ АВТОМАТОВ

Что такое автоматы

В повседневной жизни мы очень часто употребляем слова «автомат» и «автоматический»: автоматическая ручка, телефон-автомат и т. д. Однако ответить, что такое автомат, далеко не так просто, как может показаться с первого взгляда. Мы опускаем 50 копеек в прорезь соответствующей установки и без помощи кассира получаем билет для проезда в метро. Этот билет, говорим мы, нам выдал автомат. Садимся в поезд метро и за несколько минут он доставляет нас из центра большого города на его окраину. Поезд метро мы уже не считаем автоматом, так же как не назовем автоматами трамвай или автомобиль самой последней конструкции.

Чем это объясняется? Что общего у всех автоматов, в отличие от неавтоматических устройств? Может быть, дело заключается в степени сложности? Но уже приведенные примеры показывают явную несостоятельность такого предположения: авторучка или автомат в метро — устройства менее сложные, чем электропоезд или автомобиль, однако первые — автоматы, а вторые — нет.

Можно предположить, что все заключается в том, где помещается источник энергии — в самой машине или вне ее. Но автомобиль, у которого мотор и бензин находятся внутри, так же не относится к числу автоматов, как и трамвай, получающий ток с электростанции. С другой стороны, среди автоматических устройств, таких, как электронные машины или автоматические заводы, одни получают энергию изнутри, другие — извне. Следо-

вательно, это различие не является существенным для того, чтобы относить или не относить данное устройство к числу автоматических.

Несущественность места нахождения источника энергии для автоматов отмечает, в частности, автор известной монографии по кибернетике французский ученый Пьер Латиль. Он связывает специфику автоматов не с тем, где помещается источник энергии, а с тем, где находится источник сигналов, контролирующих работу машины. По его мнению, автоматизм имеет место тогда, когда машина снабжена своим собственным контролирующим устройством. Механизм является автоматическим, определяет П. Латиль, когда он сообщает собственную информацию своим исполнительным органам.

Определение П. Латиля в значительной степени соответствует сущности современных автоматов. Действительно, все они снабжены такими механизмами, которые позволяют им самим передавать те или иные сообщения своим исполнительным органам. Оставляя пока в стороне описание этих механизмов — о них речь будет идти ниже,— остановимся на вопросе о том, зачем нужно и почему важно для автомата такое устройство.

Ответ на этот вопрос может быть только один: управляющее, самостоятельно регулирующее устройство в автомате необходимо для того, чтобы избежать непрерывного вмешательства человека в работу машины. Во всех механизмах, не являющихся автоматическими,— в обычных ружьях, автомобилях, трамваях, поездах и т. д.— сигналы исполнительным органам машины передает человек. Латиль указывает на такую особенность современных автоматов, как способность работать без непосредственного вмешательства человека. Именно это обстоятельство и делает соответствующие машины автоматическими.

Но с таким же правом можно было бы отнести к автоматам и машины, которые работают без вмешательства человека, с помощью других устройств, отличных от тех, о которых говорит Латиль. Это значит, что в своем определении автоматов Латиль характеризует не сущность автоматизма как таковую, а *средство*, *способ*, с помощью которого создаются современные автоматы. Если же средство, указанное Латилем, останется навсегда единственным и другие способы создания автоматов в принципе

невозможны, то это не меняет того факта, что указание на способ создания известного устройства не является определением его сущности. Ведь на вопрос о том, почему не может быть автомата без собственного регулирующего центра, может быть дан только такой ответ: «Потому что в противном случае функции этого центра должен будет выполнять человек». Следовательно, *отсутствие постоянного вмешательства человека в работу машины*, каким бы способом оно ни достигалось, является главным основанием к тому, чтобы отнести данную машину к числу автоматов.

Такое понимание автоматизма согласуется как с первоначальным значением термина «автомат», происходящего от греческого слова «автоматос», что означает «движущийся сам собой, без человеческого содействия», так и с тем значением, в каком употребляется обычно этот термин в современном языке. Конечно, речь идет не об абсолютно строгом соответствии, а лишь о том, что имеет место в большинстве случаев. Закрепление какого-либо слова в языке за тем или иным понятием определяется, как известно, иногда причинами довольно случайного характера и часто бывает более или менее условным. Если говорят: «Приехал на машине», так никому не придет в голову, что это может быть трамвай, велосипед или поезд: машина здесь обозначает только автомобиль.

В известной мере это относится и к термину «автомат». Мы называем, например, автоматами только те телефоны-автоматы, для которых требуется 15-копеечная монета, хотя в такой же мере автоматы — все телефоны, имеющие номерной диск. Но, как правило, употребление термина «автомат» согласуется с тем значением, которое было указано выше, точно так же как ему соответствует и первоначальный этимологический смысл этого слова.

П. Латиль, наоборот, считает, что этимология слова «автомат» противоречит его современному значению. По его мнению, определение автомата как механизма, который действует без участия человека, является неправильным. Аргументы, которые он приводит, весьма просты и вместе с тем остроумны. Во-первых, согласно такому определению, нужно считать автоматом, например, кусок брошенной в воду пробки, которая всплывает на поверхность без всякого участия человека. Во-вторых, ни одно из тех устройств, которые обычно называются автоматическими,

нельзя относить, с точки зрения этого определения, к числу автоматов, так как все они работают при большем или меньшем участии человека. Во всяком случае, в действие их всегда приводит человек.

С этим рассуждением как будто трудно не согласиться. Ясно, что кусок пробки, всплывающий на поверхность воды по определенным законам природы, не является автоматом. Несомненно также, что всякий автомат действует при том или ином участии человека. Но вместе с тем очевидно и то, что автоматическими могут считаться лишь те устройства, которые совершают известные операции без вмешательства человека. В этом, как уже отмечалось выше, и заключается весь смысл самостоятельного регулирующего устройства, наличие которого, как указывает сам П. Латиль, является обязательным для всякого автомата. Следовательно, если неправильно — определять автомат как механизм, действующий при абсолютном невмешательстве человека, то, с другой стороны, неправильно — исключать невмешательство человека из числа обязательных и основных признаков любого автомата.

В природе происходит множество всевозможных процессов независимо от воли и участия людей. Конечно, их никто не назовет автоматическими. Но если человек сознательно использует те или иные законы природы для создания такого устройства, которое совершало бы известные операции без его непосредственного участия, то он конструирует не что иное, как автомат.

Итак, отношение между автоматом и человеком оказывается до некоторой степени парадоксальным: автоматическое устройство обязательно предполагает большее или меньшее участие и вместе с тем большее или меньшее невмешательство человека в его работу. Всякий автомат создается человеком, приводится в действие им и выполняет определенные, заранее поставленные перед ним задачи. В то же время всякий автомат действует независимо от человека, совершает те или иные операции без его непосредственного участия.

Однако тот факт, что автоматы невозможны без человека, не противоречит определению автоматов как механизмов, в которых некоторые процессы протекают независимо от непосредственного воздействия человека.

В связи с изложенным необходимо подчеркнуть относительность понятий «автомат» и «автоматизм».

Ни об одной автоматической машине нельзя сказать, что она является целиком и полностью автоматом, и в то же время в любой неавтоматической машине всегда имеются известные элементы автоматизма. Автоматизм авторучки заключается только в подаче чернил во время писания, но ее так же, как и простую ручку, нужно держать и двигать рукой. Водитель трамвая, автомобиля управляет ими в процессе всего движения. Но как он это делает? Водитель поворачивает руль и нажимает на педали, затрачивая очень мало энергии. А дальше происходит ряд по существу автоматических действий, в результате которых движутся или останавливаются тяжелые вагоны и автомобили.

Управляющие автоматы

Стремление к созданию устройств, способных выполнять некоторые функции человека, попытки заменить в какой-то мере мозг машиной предпринимались очень давно. Если внимательно присмотреться к новейшим автоматическим устройствам и сравнить их с машинами прежних времен, то станет очевидно, что они не возникли совершенно неожиданно, а представляют собой результат предшествующего многовекового развития науки и техники. Начало появления таких устройств относится к далекому прошлому.

При использовании первобытных орудий движущей силой их был сам человек. Своими руками он приводил в действие палку и топор, стрелы и копья. Дальнейший прогресс связан с тем, что человек нашел в природе такие источники энергии, которые смогли заменить его собственную физическую силу. Например, для передвижения по воде он использовал энергию текущей воды, построив плот, и энергию ветра, соорудив парус.

Но эти источники энергии могли дать желаемый результат лишь при условии соответствующего регулирования, управления ими со стороны человека. Плот необходимо было держать так, чтобы он двигался в определенном направлении; парус установить так, чтобы лодку не перевернуло. Такое управление часто было связано с большими трудностями и опасностями.

Мог ли человек облегчить себе *задачу управления?*

На первый взгляд может показаться, что это невозможно. Ведь для того, чтобы регулировать те или иные про-

цессы так, чтобы они давали определенные, заранее желаемые результаты, необходимо думать, размышлять. А это может делать только человек: нельзя же заставить думать за себя неживую природу или животных.

Тем не менее человек создал такие приспособления, которые могли регулировать действия физических сил без непосредственного его вмешательства. Конечно, ни животное, ни тем более неживая природа не обладают сознанием. В этом смысле найти замену человеку невозможно. Но в природе процессы протекают таким образом, что одни из них тесно связаны с другими, обусловливают друг друга. Между ними существует причинно-следственная связь. Каждое явление вызывается другим, любой процесс есть следствие какого-то другого процесса, выступающего в качестве его причины. Второй как бы *управляет* первым. Например, скорость течения реки определяется («управляется») разностью уровней поверхности тех мест, откуда и куда течет река; величина пламени зависит от количества дров и т. д.

Таким образом, хотя сознания в природе нет, однако в ней имеют место явления, аналогичные регулированию. Благодаря этому человек получает возможность управлять некоторыми процессами не непосредственно, а опосредованно. Вместо того, чтобы регулировать данный процесс — A, можно регулировать другой — B, являющийся причиной A. Человек воздействует на B, а процесс A будет происходить в этом случае уже как бы сам собой, без участия человека. Например, если нужно задержать движение судна, можно свернуть часть парусов, вследствие чего уменьшается давление ветра на паруса и движение судна «автоматически» замедляется. Мы, конечно, не называем устройства, подобные парусному судну, автоматическими. Слишком большая часть труда приходится здесь на долю человека. Однако элементы автоматизма в подобных устройствах несомненно есть: некоторые процессы протекают здесь без непосредственного участия человека.

В чем же, в таком случае, заключаются преимущества автоматического регулирования, если человек все равно должен воздействовать на какие-то процессы, если не на одни, так на другие?

Преимущества состоят в том, что такое регулирование позволяет достигать тех же и даже больших результатов

при неизмеримо меньшей затрате физических и умственных сил, чем при непосредственном регулировании. Одними процессами управлять легче, другими — труднее. Иногда значительно проще вызвать сначала процесс, являющийся причиной данного явления, чем сразу, путем непосредственного воздействия получить желаемый результат. Последнее иногда бывает просто невозможно. Один человек вряд ли мог бы управлять движением хотя бы небольшого судна непосредственно, т. е. плывя рядом с ним и подталкивая или, наоборот, задерживая его руками. Гораздо легче и успешнее он справляется с этой задачей опосредованно, скажем через парус. И уже совершенно невозможно регулировать непосредственно такие процессы, как скорость и степень нагревания воды на костре: для этого нужно усиливать или ослаблять огонь, а это можно делать лишь опосредованно, например увеличивая или уменьшая количество дров.

Конечно, во всех рассмотренных случаях не может быть никакой речи о том, что автомат, выполняющий частично задачи регулирования, мыслит вместо человека. Мыслит только человек, но его мышление в случае использования автомата предшествует во времени самому процессу регулирования. Он знает, что для нагревания большего количества воды потребуется больше дров, и задолго до того, как начнется процесс нагревания, заготовляет их. Происходит как бы концентрация мышления: вместо того, чтобы мыслить непрерывно, в продолжение всего процесса управления, человек мыслит однократно, до начала этого процесса, создавая заранее соответствующее регулирующее устройство.

Прогресс науки и культуры вел к созданию все новых и новых автоматических устройств. Наряду с использованием их для облегчения труда людей, автоматы получали иногда самые неожиданные применения. Так, александрийские жрецы, стремясь убедить верующих в своей близости к богам, использовали автоматические устройства для демонстрации разного рода «чудес». Когда в храме разгорался жертвенный огонь, перед посетителями сами собой раскрывались двери храма и два бронзовых жреца, стоящие по обе стороны алтаря, начинали лить в огонь «священное» вино из жертвенных чаш, которые они держали в своих руках. Чтобы получить «святую» воду, посетителю достаточно было опустить монету в щель неболь-

шого ящика, стоящего внутри храма, и ящик сам, без всякого вмешательства со стороны людей «выдавал» ему нужное количество. Нашему современнику, пьющему газированную воду из автомата, конечно, не приходит в голову заподозрить какое-нибудь чудо в подобной операции. Но на древнего египтянина она, естественно, производила потрясающее впечатление (конечно, при условии, если ящик работал исправно).

Автоматы, с помощью которых производились эти «чудеса», были созданы александрийским ученым II в. до н. э., знаменитым изобретателем Героном. Им же была сделана автоматическая игрушка, которая помещалась перед входом в храм: бронзовая птичка пела, но прекращала свою мелодию всякий раз, когда к ней оборачивалась сидящая впереди сова. Все эти и другие свои изобретения Герон описал в книге «Пневматика», сохранившейся до наших дней.

В последующее время интерес к автоматике все возрастает. Все большее число ученых и изобретателей-самоучек обращается к созданию различных автоматических устройств. Но если прежние автоматы в том или ином отношении заменяли человека, не имея обычно ничего общего с ним внешне, то позднее, особенно в средние века, стремятся воспроизвести человека целиком, т. е. создать такой механизм, который бы не только выполнял некоторые его действия, но и внешне был похож на него. В результате появляется «железный человек», открывающий и закрывающий двери, механический барабанщик, флейтист, автоматическая ткачиха, парикмахер, маляр и т. д.

Практическое значение этих автоматов было очень невелико. Они мало помогали человеку в труде. Ни один из этих механических людей не мог выполнять предназначенную ему работу так, чтобы действительно заменить живого человека. Механические маляры и булочники, флейтисты и пианисты слишком невыгодно отличались от живых рабочих и музыкантов. Но тем не менее эти автоматы производили огромное впечатление на людей, главным образом благодаря своему внешнему сходству с человеком. Интерес к механическим людям был так велик, что не на шутку встревожил служителей католической церкви. Если в древности автоматы использовались церковниками для демонстрации божественной силы, то

теперь они называли их порождением дьявола. В XVIII в. швейцарский часовщик Дро, создавший вместе со своим отцом механического рисовальщика, пишущего мальчика и пианистку, подвергся жестоким преследованиям со стороны церкви. Он был объявлен колдуном и брошен в тюрьму, а его изобретения запрятаны в подвал.

Необыкновенное впечатление, которое производили механические люди на воображение человека, нашло, как мы увидим дальше, определенное отражение в философии XVIII в., когда некоторые ученые пришли к выводу об отсутствии принципиальной разницы между человеком и машиной.

Большим успехом пользовались также механические животные. Известны «поющая канарейка» московского механика Дюмолина и «порхающая утка» французского механика Вокансона. Характерно, что Вокансон прославился больше своими автоматическими игрушками (им был создан еще механический флейтист, игравший разные мелодии), чем таким ценным изобретением, как механический ткацкий станок, который остался для большинства людей неизвестным.

Значительно большее практическое значение имели те автоматы, которые предназначались для регулирования процессов, связанных с использованием большого количества энергии. Наиболее древними примерами таких автоматов являются устройства на водяных и ветряных мельницах.

Сила воды и ветра была известна очень давно. Но нужно было научиться управлять ею. И люди создали приспособления, преобразующие силу воды и ветра в движение колес и жерновов, растирающих зерна. Они не только заставили воду и ветер вращать колесо, вместо того чтобы делать это своими руками, но и придумали особое устройство, регулирующее подачу зерна на жернов,— так называемый потрясок.

Скорость вращения жернова под влиянием тех или иных причин (силы ветра, напора воды, качества зерна и т. д.) постоянно меняется, вследствие чего в каждый данный отрезок времени он может перемолоть разные количества зерна. Чтобы мельница работала исправно, нужно всегда подавать столько зерна, сколько может перемолоть жернов, иначе он будет или засоряться, или перегреваться от слишком быстрого вращения.

Потрясок устроен так, что при ускорении вращения жернова автоматически увеличивается количество подаваемого зерна. Достигается это с помощью муфты, насаженной на ось жернова таким образом, что при вращении она задевает своим краем деревянный желоб, по которому подается зерно. Чем быстрее вращается ось, тем чаще муфта задевает («потрясает») желоб и тем больше зерна сыплется с него на жернов. При замедлении вращения желоб реже задевается муфтой и количество зерна, которое стряхивается с него, уменьшается.

Таким образом, уже в таких простых устройствах, как водяная и ветряная мельницы, элементы автоматизма играют существенную роль. Но настоящий переворот в технике производства был связан с применением автоматов в машинах, использующих давление пара.

Сила пара, так же как сила воды и ветра, известна людям давно. Уже Герон использовал пар для вращения железного шара. В XVIII в. было построено много машин, главной частью которых являлся поршень, движущийся под действием пара. И здесь, как в рассмотренных ранее устройствах, главная трудность заключалась в управлении движущей силой машины, в данном случае — в регулировании подачи пара. Чтобы поршень двигался, пар должен давить на него то с одной, то с другой стороны. До тех пор, пока соответствующие клапаны открывались и закрывались вручную, работа паровых машин давала мало результатов и большого применения они не находили. Но когда был изобретен парораспределительный аппарат, регулирующий подачу пара *автоматически*, тогда пар произвел целую промышленную революцию. Паровые машины стали использоваться всюду: появились паровые мельницы, паровозы, пароходы и другие машины с паровыми двигателями.

Создателем современного автоматического парораспределителя был английский механик второй половины XVIII — начала XIX в. Джемс Уатт. Главной частью изобретенного им регулирующего механизма является так называемый золотник, движущийся внутри цилиндра паровой машины вместе с поршнем. Пар поступает к поршню по двум каналам: правому и левому. Золотник связан с поршнем так, что, когда поршень под давлением пара, идущего из правого канала, движется влево, он перемещается вправо и закрывает правый канал, открывая

левый; под давлением пара, идущего из левого канала, поршень движется вправо, вследствие чего золотник перемещается влево, закрывая левый канал и открывая правый и т. д. Таким образом, автоматически, а не путем ручного парораспределения обеспечивается давление на поршень попеременно—то с одной, то с другой стороны.

Известен также регулятор Уатта, который «следит» за давлением пара в котле. С котлом соединяется стержень, вращающийся под давлением находящегося в котле пара. На стержне подвешены два шарика, которые при вращении расходятся в стороны под влиянием центробежной силы. Крышка клапана, через который выходит пар из котла, соединяется с шариками так, что, когда они расходятся в стороны, крышка открывается, и наоборот. Чем больше пара в котле, тем быстрее вращается стержень, соответственно тем больше отклоняются в стороны шарики и тем шире открывается крышка клапана, выпуская излишек пара. Так саморегулируется давление пара в котле.

Чем же отличаются такие сложные механизмы, как паровая машина, от самых простых, примитивных устройств? В чем принципиальная разница между пароходом и парусником, парусником и весельной лодкой, весельной лодкой и человеком, передвигающимся по воде с помощью своих рук и ног?

Проследим последовательно действия и процессы, которые происходят во всех этих случаях, начиная с простейших. Человек передвигается в воде за счет того, что отталкивается от нее своими руками и ногами. Руки и ноги, являющиеся частью самого человека, образуют в данном случае единственное посредующее звено между человеком и водой. Если человек плывет в весельной лодке, тогда между ним и водой кроме его рук и ног имеется еще посредующее звено — весла. При движении парохода число этих посредующих звеньев увеличивается во много раз: уголь, бросаемый в топку, вода в котле, пар, поршень, коленчатый вал, гребной винт — это далеко не полный их перечень.

Таким образом, существенное различие между простыми и сложными устройствами заключается в *количестве посредующих звеньев* между действиями человека и машины. На этом и основано регулирование и автоматизация. Непосредственно, без промежуточных приспособлений человек не смог бы сдвинуть корабль. Но с помощью ряда

посредующих звеньев он без труда справляется с этим. Бросая уголь в топку, человек тратит не больше сил, чем плывя в воде, но при этом он не только передвигается сам, но и приводит в движение корабль с большим количеством людей и тяжелым грузом. Совершать большую работу при малой затрате первоначальной энергии — в этом суть процесса управления.

Мышление человека разбивается и здесь на две части. С одной стороны, он думает в момент непосредственного управления кораблем, поворачивая определенным образом руль и подавая в тех или иных количествах уголь в топку. С другой стороны, он думает задолго до того, как началось управление движением корабля. Все те процессы, которые происходят после поворота руля и подачи угля в топку, регулируются уже не непосредственным мышлением человека, а той концентрированной мыслью его, которая привела к созданию корабельных механизмов.

Вычисляющие автоматы

Благодаря автоматизации задача управления облегчается, но процесс мышления, хотя он и отрывается во времени от самого момента регулирования, не становится от этого более легким.

Не могут ли автоматы облегчить людям и этот труд? Нельзя ли автоматизировать само мышление?

Простейшим случаем мыслительной деятельности является вычисление. Однако и этот вид мышления требует от человека много времени и большого напряжения умственных сил. Один английский математик в течение всей жизни вычислял число π.

Но если обратиться к задачам не столь сложным, как вычисление π, то и они, оказывается, решались не так просто, как может показаться теперь. Древние египтяне не умели приводить дроби к общему знаменателю, и сложение каких-нибудь двух простых дробей мог осуществить лишь солидный ученый-математик, потратив на это много времени. Для того чтобы овладеть предельно простой операцией умножения, людям понадобилось много тысяч лет. И в этом нет ничего удивительного.

Складывать, умножать и вообще производить какие бы то ни было действия над числами человек смог тогда, когда он научился отвлекаться от качественных особенностей предметов. Если мы говорим: «Пять оленей», нас

не интересует их цвет, рост, возраст и т. д., мы отвлекаемся от этих качеств отдельных оленей, сосредоточивая внимание на *количестве* их. Говоря: «Пять животных», мы уже не только отвлекаемся от их цвета, роста и т. д., но и от того, с какими видами животных мы имеем дело — оленями, коровами или теми и другими вместе. Для нас важно лишь, что их число равно пяти. Если кого-нибудь интересует общее число предметов, скажем принадлежащих тому или другому лицу, то в этом случае он отвлекается от еще большего количества признаков предметов. В число, которое он получит в результате подсчета, войдут предметы большие и маленькие, одушевленные и неодушевленные, съедобные и несъедобные, черные и белые, красные и зеленые. Такая способность абстрагироваться от конкретных свойств отдельных предметов свидетельствует уже о сравнительно высоком уровне развития мышления.

У первобытного человека не было таких абстрактных понятий, как «два», «три», «четыре» и т. д. Каждый олень, который ему принадлежал, осознавался им как именно данный олень, отличающийся от остальных какими-то особыми признаками, а не как часть общего количества оленей. Он никогда не думал: «У меня три оленя», а думал только так: «У меня вот этот олень, и этот олень, и этот олень». Затем с каждым из них он стал сопоставлять какие-то другие предметы, прежде всего пальцы на руках, и лишь постепенно осознал, что три пальца, соответствующие такому-то, такому-то и такому-то оленю, помогают ему запомнить своих оленей, хотя между пальцами и оленями общего очень мало. Это предметы совершенно разные, качество оленей они не передают. Но они отражают нечто другое, а именно *сколько* всего оленей.

Впоследствии пальцы были заменены камушками. Положив в горшок по одному камушку на каждого из тех оленей, которые у него были раньше, затем по камушку на каждого вновь родившегося, человек получал — уже в известной мере автоматически — сколько камушков в горшке, столько у него оленей.

Почему сложение оленей можно заменить загибанием пальцев на руке или складыванием камушков в горшок?

Потому что при всем различии этих предметов — оленей, пальцев и камушков — между ними есть нечто общее. Мы очень легко можем выразить теперь это общее,

сказав, что перед нами одно и то же количество этих разных предметов. Понятия «два», «три», «четыре» и т. д. существуют как таковые лишь благодаря отвлечению от различных качеств предметов. Учет этих качеств образует содержательную сторону мышления. Отвлечение от них приводит к формальной стороне. Поэтому можно сказать, что количественные соотношения между предметами, которые выражаются числами, носят *формальный характер*. Именно с нахождением таких формальных соотношений связано появление и развитие арифметики. В этом смысле арифметика — наука формальная. Это обстоятельство объясняет возможность замены при счете одних предметов другими и может быть использовано при создании приборов, облегчающих процесс вычисления.

Уже горшок, в котором складывались камушки, дает простейший пример такого прибора. В дальнейшем было изобретено много других приспособлений для облегчения счета. Древние греки и римляне использовали для этой цели абак — разделенную на две части доску с проволоками, на которые нанизывались камешки, косточки. Абак применялся до XVIII в. в Западной Европе.

Очень похожи на абак широко известные у нас счеты. Насаженные на проволоки косточки делятся здесь на разряды — единицы, десятки и т. д., что позволяет небольшим числом косточек выражать большие числа и сравнительно быстро производить различные действия над ними. В XVII в. были созданы более сложные машины, позволявшие складывать большие числа значительно быстрее, чем это делалось раньше. Известный французский физик, математик и философ Блез Паскаль (1623—1662) изобрел счетную машину, в которой сложение производилось с помощью поворотов системы колес. Каждое число соответствовало определенному углу поворота. Сложение чисел было сведено к сложению углов. Когда колесо единиц совершало полный оборот, т. е. отсчитывало 10 единиц, движение с помощью шестерни передавалось другому колесу — колесу десятков, которое поворачивалось при этом на один угол. При следующем обороте колеса единиц колесо десятков поворачивалось еще па один угол, и так до 10-го поворота, когда вращение передавалось дальше, на колесо сотен, и т. д.

В конце XVII в. знаменитый немецкий ученый, философ и математик Г. В. Лейбниц создал арифмометр,

который уже не только складывал, но и производил все 4 арифметические действия. Большой известностью пользуется современный тип арифмометра, созданный в конце XIX в. петербургским инженером В. И. Однером. Все действия здесь сводятся к чисто механическому перемещению различных частей аппарата: нескольких рычажков, счетчика, вращающейся рукоятки и особых дисков, получивших название «колес Однера». Рычажки перемещаются по прорезям, между которыми нанесены ряды цифр от 1 до 10: ряд единиц, ряд десятков и т. д. Чтобы помножить, скажем, 58 на 24 нужно установить рычажок, перемещающийся вдоль единиц, напротив цифры 8, перемещающийся вдоль десятков — напротив цифры 5; затем повернуть рукоятку 4 раза (помножив таким образом 58 на 4) и, передвинув счетчик на один разряд вправо, повернуть рукоятку еще два раза (помножив тем самым 58 еще на два десятка). Больше от человека ничего не требуется: все вычисления произведут колеса арифмометра.

Можно ли назвать такие приборы автоматическими?

В известном смысле можно. Человек крутит ручку и, не производя никаких вычислений, получает готовый результат перемножения. Но в таком смысле автоматом является и первобытный горшок: камушки в него кладут не сразу все, а по частям, и в результате их оказывается как раз столько, сколько человек имеет оленей в своем стаде.

Но, конечно, ни о том, ни о другом приборе никто не скажет, что они думают. Думает человек, изобретающий их. При этом он всегда опирается на те закономерности, которые имеются в природе. Создавая регулирующие устройства, человек использует причинные связи между различными процессами и явлениями. При конструировании счетных машин он основывается на том факте, что количественные соотношения различных предметов не зависят от их качественных характеристик. Другими словами, автоматизация вычисления, как и управления, возможна лишь благодаря тому, что в самой природе имеют место процессы, аналогичные этим сторонам деятельности человека.

«Думающие» автоматы

Итак, по крайней мере один из видов умственной работы, процесс вычисления, оказалось возможным автоматизировать. Но нельзя думать, что вся мыслительная деятельность человека при счете сводится к чистому вы-

числению. При этом всегда имеют место другие рассуждения, которые отнюдь не являются простым количественным подсчетом, не говоря уже о том, что вообще мышление неизмеримо шире и сложнее, чем вычисление.

Возможна ли автоматизация всего процесса мышления в целом?

Мы видели, что счетные машины были созданы на основе чисто количественных, формальных отношений между предметами, в результате отвлечения от их качественных характеристик. Естественно предположить, что при формализации других сторон мышления, что дало бы возможность отвлекаться от конкретных свойств предметов не только в процессе счета, но и при прочих видах мыслительной деятельности, можно было бы ставить вопрос об автоматизации человеческого мышления.

Подобная формализация мышления оказалась возможной. Можно установить такие соотношения между мыслями, при которых истинность одних мыслей будет вытекать из истинности других совершенно независимо от их конкретного содержания. Эти соотношения сформулированы еще в теории силлогизма, которая была создана основателем науки логики, древнегреческим философом Аристотелем.

Рассмотрим такие рассуждения:

Морская вода соленая (1).
Эта вода — морская (2).
Следовательно, эта вода соленая (3).

Журавли зимой улетают на юг (1).
Эти птицы — журавли (2).
Следовательно, эти птицы зимой улетают на юг (3).

Третья мысль в том и другом случае вытекает из первых двух. Между ними имеет место отношение *следования*. И это отношение не зависит от качественного своеобразия предметов, о которых идет речь. В обоих примерах — о морской воде и журавлях — имеет место одно и то же отношение, хотя, конечно, морская вода и журавли совершенно различны.

Чтобы сделать еще более ясным независимость отношения следования от конкретного содержания мыслей, возьмем такой пример, где это содержание нам неизвестно:

Всякая квадратичная форма над полем F может быть приведена некоторым невыраженным линейным преобразованием с коэффициентами из F к каноническому виду (1).

Это математическое выражение является квадратичной формой над полем F (2).

Следовательно, это математическое выражение может быть приведено некоторым ... и т. д. (3).

Конкретное содержание мыслей в этом примере понятно далеко не всем. Однако и здесь, если первые две мысли истинны, то истинна и третья. Истинность третьей мысли вытекает здесь не из конкретного содержания двух первых мыслей (посылок), а из тех формальных соотношений между понятиями, которые здесь выражены.

Можно заменить эти понятия буквами, и правильность вывода от этого не нарушится. Если обозначить понятие «квадратичная форма над полем F» буквой M, а понятие «то, что приводится... к каноническому виду» буквой P, то можно сказать, что здесь M включается в P. Обозначив понятие «это математическое выражение» буквой S, мы можем сказать, что во второй мысли S включается в M. И каково бы ни было конкретное содержание этих понятий, будут ли это квадратичные формы, вода, журавли или что угодно другое, но если верно, что M включается в P, а S включается в M, то также верно будет и то, что S включается в P. Не зная, что такое M, P и S, мы тем не менее совершенно уверены в правильности вывода.

Все M есть P.
S есть M.
Следовательно, S есть P,

аналогично тому, как мы уверены в правильности выражения «дважды два равно четырем», не зная ничего о тех предметах, количество которых в данном случае вычисляют.

И подобно тому, как формальные, количественные соотношения были использованы при конструировании счетных машин, так общие формальные отношения между любыми мыслями могут явиться основой для создания приборов, делающих правильные выводы из данных посылок, без непосредственного участия человека в этом процессе.

Потребность в таких машинах возникла в связи с необходимостью делать сложные выводы из множества посылок, так же как автоматы-счетчики были изобретены для облегчения и убыстрения сложных действий над большими числами.

Идея логической машины возникла еще в средние века. Одна из первых попыток построения универсального логического аппарата, дающего ключ к решению всевозможных вопросов, принадлежит логику второй половины XII — начала XIII в. Раймонду Луллию. Его машина представляла собой систему вращающихся концентрических кругов. Группы понятий, над которыми нужно было производить логические операции, обозначались буквами; например, *В* обозначало добро, различие, вопрос, бога, скупость; *Д* — власть, начало, почему, человека, умеренность, гордость и т. д. Вращение кругов давало различные комбинации понятий, которыми Луллий хотел охватить все знания. Здесь мы видим уже не только формальные выводы из данных суждений, но стремление открыть новые истины путем формальных комбинаций понятий. Конечно, попытка Луллия не имела успеха. Одно дело — получать новые знания из других знаний, делать выводы об истинности тех или иных суждений на основе истинности других суждений, и совсем другое — пытаться получать новые истины из случайных комбинаций различных механически соединенных друг с другом понятий. Но сама идея о создании машины, облегчающей процесс выводов, является весьма ценной. Католическая церковь отнеслась к Луллию враждебно, усмотрев в его намерениях посягательство на свои догмы, согласно которым мышление — это божественный дар и стремление заставить мыслить машину вместо человека является кощунством.

Неудача Луллия не остановила попыток создания «думающих» машин. Г. В. Лейбниц, известный уже нам как изобретатель одного из счетных приборов, выдвинул идею логической машины, которая через посредство системы символов могла бы «умозаключать» о качествах предметов подобно тому, как в математике производится исчисление количеств. Эта так называемая «универсальная символика» и «исчисление умозаключений» Лейбница явились зародышем современной «думающей» машины.

Новая попытка создания логической машины была предпринята в XIX в. английским логиком Джевонсом. Он составил так называемый «логический алфавит», большие буквы которого обозначали определенные признаки, маленькие буквы — их отрицания. Логическим операциям соответствовали движения рычагов, при помощи

которых машина механически устраняла из алфавита те комбинации признаков, которые оказывались несовместимыми с данными посылками.

Практическое значение рассмотренных логических машин, в том числе и машины Джевонса, было очень невелико. Сам Джевонс считал, что его изобретение представляет в основном лишь теоретический интерес; выводы, получаемые при помощи его машины, легко могли быть достигнуты и непосредственно. Машина Джевонса была построена в нескольких странах, но рассматривалась скорее как любопытная игрушка, чем реальный помощник в процессе мышления.

Все это, конечно, имело свои причины. Прежде всего необходимо подчеркнуть тот факт, что не все мысли можно свести к аристотелевским силлогизмам и формализовать так, как это было сделано в логике Аристотеля. Значительная часть мыслей не подчиняется такой формализации. Аристотелевская логика устанавливает формальные отношения лишь для самых простых типов мыслей, с которыми люди обычно справляются без помощи машин. Кроме этого очень важного обстоятельства неудачи попыток построения логических машин объясняются несовершенством техники того времени. Для выполнения самых простых логических операций требовались чрезвычайно громоздкие сооружения.

Бесплодность попыток создания практически полезных «думающих» машин часто делала их предметом насмешек. Джонатан Свифт описывает посещение Гулливером великой академии на острове Лагадо. Там выжившие из ума мудрецы показали ему машину, очень напоминающую машины Луллия и его последователей.

II. НА ПОДСТУПАХ К КИБЕРНЕТИКЕ

1. Технические предпосылки кибернетики

Автоматы нового типа

Переворот в развитии автоматики связан с использованием новых источников энергии: электричества, а затем энергии атомного ядра. Управлять электричеством без автоматических устройств и приборов очень трудно, атомной энергией — невозможно. Поэтому вопрос об использовании электрической и атомной энергии упирается в автоматизацию процессов управления ими. Вместе с тем применение электричества колоссально расширяет возможности построения сложных автоматических приборов. Таким образом, новые источники энергии дают двойной толчок развитию автоматики, увеличивая потребность в автоматах, с одной стороны, и создавая технические предпосылки для их конструирования — с другой.

К середине XX в. появилось множество различных автоматов: автоматические станки, автоматические линии (совокупности автоматических станков, на которых изделие передается от одного станка к другому) и даже целые автоматические заводы.

Что же такое автомат в современном смысле этого слова? Какая степень автоматизации дает в настоящее время право назвать данный механизм автоматом?

Выше говорилось, что в работе каждой машины имеются элементы автоматизма. Однако далеко не каждая машина называется автоматом. Ни паровая машина Уатта, ни чрезвычайно сложные универсальные станки — токарные, фрезерные — не являются автоматами с современной точки зрения. Они не относятся к числу автоматов

потому, что автоматически, сама собой в них происходит лишь обработка детали, а вспомогательные операции — установление заготовки, снятие изделий и т. д.— производит рабочий. Автоматом же называется такой станок, на котором автоматически совершается вся последовательность действий, как рабочих, так и «холостых», вспомогательных. Включив станок-автомат, рабочий может уйти от него. Если в процессе работы машины требуется хотя бы незначительное вмешательство со стороны человека, скажем присутствие рабочего для снятия деталей, то такой станок уже не считается автоматом. Его можно определить лишь как полуавтомат.

Автоматы проникают в самые различные области деятельности человека. Рассмотрим в качестве примера автоматического тракториста, созданного механизатором-изобретателем из совхоза «Иртышский» И. Логиновым. Прежде всего следует отметить, что этот механический рабочий, в отличие от искусственных рабочих и музыкантов XVIII в., с внешней стороны ничего общего с человеком не имеет. Это уже не занимательная игрушка, а практически полезный механизм, выполняющий трудную и важную работу. С задачами тракториста при всем своем внешнем несходстве с ним он справляется весьма успешно.

Вот как сам И. Логинов описывает изобретенное им приспособление для автоматического управления трактором: «Впереди трактора, вдоль первой и ровно проложенной борозды, идет копирующее устройство. Изгибается борозда влево — контакты копира, а за ним и реле тотчас же замыкаются. А так как реле связано с поворотными муфтами трактора через специальный гидравлический механизм, то трактор забирает влево. Забирает ровно настолько, насколько требуется, чтобы он шел параллельно первой борозде».

Особое внимание здесь нужно обратить на приспособление, называемое *реле*. Реле заслуживает внимания не только потому, что является, как видно из приведенного описания, существенной частью данного автоматического устройства, но главным образом потому, что оно играет большую роль во всей современной автоматике.

Термин «реле» происходит от французского слова relais, что значит «пункт перегрузки, перепряжки, место смены лошадей» или «место смены охотничьих собак».

Позднее это слово стали употреблять в переносном смысле для обозначения приспособлений, обеспечивающих приток новой энергии с целью поддержания каких-нибудь затухающих процессов. После изобретения телеграфа, например, так стали называться приборы, принимающие с линии связи слабые сигналы и передающие в телеграфный аппарат или на другой участок линии более сильные токи. Перенос названия здесь вполне оправдан: подобно тому, как почтовые реле сменяли ослабевших от усталости лошадей на свежих и сильных, так слабые сигналы заменяются более сильными при помощи телеграфных реле. С течением времени значение этого слова еще более расширилось. Теперь термином «реле» обозначаются все те многочисленные приспособления в самых различных областях техники, суть которых сводится к определенной ответной реакции на разного рода внешние воздействия и те или иные изменения величины и направления этих воздействий. Существуют защитные реле, предотвращающие превышение аварийного максимума (или минимума), исполнительные реле, используемые для сигнализации.

Реле является одной из самых важных частей всех современных управляющих механизмов. Мы не будем углубляться в технические детали ни релейных, ни других регулирующих устройств. Освещение этой стороны вопроса не входит непосредственно в задачу данной работы. Характеризуя современные автоматы, мы хотим лишь подчеркнуть, что при всем различии их с предшествующими простейшими устройствами между ними имеется существенное сходство. Оно состоит в том, что и те и другие основаны на использовании различных физических явлений для регулирования процессов, совершающихся в машине. Конечно, при этом большое значение имеет и то, какие именно явления используются для этой цели. Электричество и магнетизм дают в этом отношении неизмеримо большие возможности, чем те механические двигатели, на основе которых создавались прежние регулирующие устройства. Но различие здесь лишь в получаемых результатах, а не в принципе. Все управляющие автоматы — прежние и современные, примитивные и совершенные — всегда заключают в себе такие устройства, которые получают различные сигналы из внешней среды и в соответствии с ними определяют ответное действие данного механизма.

Электронные цифровые машины

Прогресс автоматики проявился не только в области регулирования, но и в вычислительной технике. Появились новые счетные машины — автоматы-математики. И здесь, как и в развитии автоматов-регуляторов, большую роль сыграло электричество. Правда, для создания вычислительных приборов используются также и другие явления, такие как теплота, движение жидкостей и т. д. Однако наибольшая точность и быстродействие достигается при помощи электричества.

Существует два основных типа современных вычислительных машин: моделирующие и цифровые.

В моделирующих устройствах, называемых также машинами непрерывного действия, математическим величинам соответствуют непрерывные значения каких-либо физических величин — электрических токов, напряжений. По окончании процесса вычисления результаты, представленные физическими величинами, снова преобразуются в математическую форму. Надежность результатов зависит, таким образом, от тщательности измерения соответствующих физических величин, что, конечно, снижает степень точности решения.

Более надежные результаты дают цифровые машины, которые, в отличие от моделирующих, сопоставляют с математическими понятиями — числами отдельные, прерывные значения физических величин. Математические операции производятся здесь при помощи системы электронных ламп; поэтому устройства такого типа называются обычно *электронными* цифровыми машинами.

Электронная лампа устроена так, что если на одну из ее частей (анодную сетку) дать положительный заряд, то она пропускает ток, если же дать отрицательный заряд, то не пропускает. В первом случае говорят: «Лампа открыта», во втором: «Закрыта». Таким образом, электронная лампа может быть в двух состояниях, и это, как мы увидим дальше, является очень важным ее признаком.

Несколько электронных ламп могут быть соединены таким образом, что состояние одних ламп будет определять состояние других. Если две лампы находятся в непроводящем (запирающем) состоянии, тогда третью можно соединить с ними так, что она тоже окажется в таком непроводящем состоянии. Обозначив состояние лампы «открыта» буквой *О*, состояние «закрыта» букой *З*,

можно выразить указанное соединение трех ламп схемой: *3+3=3*. Другие способы соединения ламп будут изображаться соответственно такими схемами: *0+3*=0— первая лампа открыта, т. е. находится в проводящем состоянии, вторая — в непроводящем, третья — в проводящем; *3+0=0* — первая лампа — в непроводящем, вторая и третья — в проводящем. Наконец, можно сделать так, чтобы проводящее состояние двух ламп возбуждало в третьей лампе проводящее состояние, а в четвертой — непроводящее: *0+0=03*. Эти комбинации двух различных состояний трех или четырех ламп являются основой всех вычислительных операций электронной машины.

На практике удобно объединять электронные лампы в двухламповые ячейки — так называемые *триггеры*, которые также могут находиться в двух состояниях:

(I) первая лампа открыта, вторая закрыта;

(II) вторая лампа закрыта, первая открыта.

Для того, чтобы машина могла выполнить поставленные перед ней задачи, ей нужно четко сформулировать задание, точно указать, какие действия и в какой последовательности она должна совершить. Другими словами, нужно составить *программу* работы машины. В процессе выполнения программы машина последовательно, одну за другой решает отдельные задачи, число которых может быть очень велико. Чтобы не забывать результаты решения каждой из этих задач, машина хранит их при помощи особых приспособлений, называемых «памятью». «Память» разделена на участки — ячейки. Программа состоит из ряда последовательных сигналов — команд. Каждая команда содержит указание на то, из каких ячеек («адресов») нужно взять числа, какие операции с ними необходимо произвести и в какую ячейку «памяти» положить результат. Сама программа тоже записывается в «памяти». Она вводится в машину перед началом работы вместе с исходными данными. Все дальнейшие процессы происходят автоматически.

Интересной и важной особенностью работы современных вычислительных машин является то, что направление вычислений часто зависит от полученного ранее промежуточного результата. Программа составляется так, что один результат предписывает машине одни действия, другой — другие. Здесь имеют место специальные команды условного перехода.

Исходные данные и программа вводятся в машину человеком путем пробивки отверстий на особых карточках, так называемых «перфокартах»; машина преобразует эти данные в комбинации проводящих и непроводящих состояний ламп и отправляет в свою «память».

Когда программа выполнена, комбинации триггеров, отражающие полученные результаты, преобразуются самой машиной в соответствующие знаки на перфокартах (или перфолентах), после чего эти результаты переводятся на обычный язык.

Если замена первобытного счетного горшка углами поворота шестеренок арифмометра ускорила процесс вычисления во много раз, то с применением электронных ламп скорость и точность вычислений возросла неизмеримо, не говоря уже о том, что вместе с этим создалась возможность автоматического решения таких задач, которые были не под силу счетным машинам прежних времен. Однако, если оставить в стороне технические способы выражения арифметических действий и обратиться к принципиальной сущности различных вычислительных приборов, начиная от первого арифмометра и кончая самыми совершенными электронными машинами, то и здесь, как в регулирующих устройствах, мы увидим нечто общее всем этим приборам, а именно сопоставление мысленным, в данном случае математическим, операциям определенных физических процессов. Различие в результатах работы машины зависит от выбора этой физической основы. Механические процессы протекают гораздо медленнее, чем электрические, так как шестерни и другие подобные приспособления обладают большой инерцией, тогда как электронная лампа практически безынерционна. Состояние электронной лампы можно изменять много миллионов раз в секунду. Это обстоятельство оказалось одним из решающих факторов в той революции, которая была связана с появлением современных электронно-цифровых счетных машин.

Но почему же возможность быстро осуществлять такие простые операции, как сложение и умножение, произвела целую революцию в автоматике? Ведь в математике существует много гораздо более сложных задач, требующих своего разрешения. Могут ли помочь здесь автоматы, умеющие только складывать и умножать?

Оказывается, могут. Но эта возможность связана уже не с техникой автоматических устройств, а с использова-

нием определенных теоретических положений науки математики, так же как в создании современных логических машин, автоматов-переводчиков и т. д. решающую роль сыграло развитие логики и ряда других наук. Теоретические достижения этих наук вместе с техническими усовершенствованиями последних лет создали предпосылки для возникновения *науки* об автоматах. Процесс развития автоматов, от примитивных древних устройств до электронных счетных машин, происходил в основном стихийно. Ученые и изобретатели работали каждый в своей области, выдвигая отдельные теоретические положения и обоснования в связи с той узкой задачей автоматизации, которая стояла перед ними в данный момент. Общей теории, специальной науки, которая бы обобщала все имеющиеся данные об автоматах и служила руководством для создания новых, более совершенных автоматических устройств, до 40-х годов XX в. не существовало. В возникновении этой науки наряду с техническими большую роль сыграли теоретические предпосылки в виде научных достижений в области математики, логики, языкознания, физиологии и психологии.

2. Научные предпосылки кибернетики

Математика

Мы сказали, что автоматы, умеющие только складывать и умножать, способны решать очень сложные математические задачи. Это возможно благодаря тому, что в математике сложные проблемы сводятся к более простым. Возьмем, например, умножение и деление. Эти операции более сложны, чем сложение и вычитание, но математика их упрощает так, что они не вызывают особых трудностей. Например, чтобы 389 умножить на 948, мы не складываем число 389 само с собой 948 раз, а поступаем гораздо проще — перемножаем только однозначные числа и результаты складываем друг с другом. К подобным приемам математика прибегает постоянно. Задача любой сложности может быть успешно решена, если она разложена на простые задачи и известна процедура их решения. С этим связано одно из важнейших понятий математики — понятие *алгоритма*.

Под алгоритмом понимают точное предписание о выполнении в определенном порядке некоторой системы

операций для решения всех задач данного типа. В математике создана общая теория алгоритмов, в разработке которой большую роль сыграли работы советских ученых А. А. Маркова и П. С. Новикова. Доказано, что для большинства сложнейших математических задач существуют алгоритмы, разлагающие их на совокупность простых задач, каждую из которых способен решить человек, мало или совсем не сведущий в математике. Правда, таких задач получается в результате чрезвычайно много, и если бы человек должен был решать все эти задачи сам, то при всей их простоте ему потребовалось бы очень много времени. Но машина с помощью комбинации триггеров решает сложнейшие задачи за сравнительно короткий отрезок времени. Например, быстродействующая счетная машина «Стрела», которая находится в Вычислительном центре Академии наук СССР, производит две—две с половиной тысячи операций в секунду. Сложнейшая аэродинамическая задача была решена за один час, а при ручном счете два специалиста потратили бы на эти вычисления пять лет. Электронная машина в Принстоне (США) за один час давала прогноз погоды за сутки.

Теперь возникает вопрос: каким образом с помощью ламп, которые бывают только в двух состояниях, можно производить действия над числами, для изображения которых, как нам хорошо известно, применяется 10 знаков (цифр)? Ведь для того, чтобы те или иные комбинации различных состояний ламп могли выражать собой разные числа, нужно, чтобы каждому цифровому знаку соответствовало одно определенное состояние лампы.

Конечно, такое соответствие в данном случае необходимо. Но для того, чтобы его установить, вовсе не обязательно иметь в распоряжении лампы, которые могли бы находиться в десяти различных состояниях. Значительно проще заменить систему из 10 знаков двузначной. Ведь количество знаков, служащих для выражения чисел, вполне условно. Использование десяти знаков во многих отношениях очень удобно, поэтому десятичная система является наиболее употребительной. Но это не значит, что нельзя выразить любые числа с помощью другого количества знаков. Такие числа, возможно, окажутся более громоздкими и с известных точек зрения менее удобными, но в некоторых других отношениях эта система может иметь определенные преимущества перед

десятичной. В частности, в электронных машинах гораздо целесообразнее заменить десятичную систему двоичной, или, как ее еще называют, бинарной, чем в несколько раз усложнять вычислительные устройства, создавая приспособления, которые находятся в 10 различных состояниях.

Если в десятичной системе единичными знаками выражаются 10 чисел (от 0 до 9), то в двоичной системе единичные цифры соответствуют только двум первым числам: 0 и 1. Все остальные числа представляют собой различные комбинации этих цифр: двузначные, трехзначные и т. д. Так, число 2 в бинарной системе можно выразить уже только двузначным сочетанием. Наименьшим двузначным числом, которое можно образовать из 0 и 1, является 10. Оно и выражает собой число 2. Следующим двузначным числом, которое можно получить из этих знаков, будет 11; оно соответствует в десятичной системе числу 3. Других двузначных чисел, кроме 10 и 11, из 0 и 1 составить нельзя, так что для выражения числа 4 потребуется уже комбинация из трех знаков. Наименьшим трехзначным числом, образованным цифрами 0 и 1, является 100, оно и соответствует числу 4. Кроме 100 можно образовать из 0 и 1 еще такие трехзначные числа: 101, 110, 111 (в порядке возрастания). Эти числа двоичной системы выражают соответственно 5, 6 и 7 десятичной. 8 выразится уже четырехзначным числом 1000, 9 — 1001, 10—1010 и т. д.

Но как оперировать такими числами? Каковы бинарные соответствия двузначных и трехзначных десятичных чисел? Перебирать по порядку каждый раз все соответствия, начиная с 2, пока не дойдет очередь до требуемого числа, очень трудно. Выучить все числа, как таблицу умножения, также нелегко.

Просмотрим внимательно последовательный ряд чисел сначала десятичной, затем бинарной системы и сравним между собой соответствующие числа каждого ряда.

Десятичная система	Двоичная система
0	0
1	1
2	10
3	11
4	100
5	101
6	110
7	111
8 и т. д.	1000 и т. д.

При определении чисел двоичной системы нам важно знать прежде всего, сколько знаков будет содержать двоичное число, соответствующее данному десятичному. Если десятичные числа 1, 2, 4, 8..., соответствующие переходным двоичным 1, 10, 100, 1000..., представить в виде степеней числа 2, то обнаруживается такая закономерность: когда показатель степени 2 в десятичном ряду увеличивается на единицу, соответствующее ему двоичное число переходит в следующий разряд.

Десятичная система	Двоичная система
$1=2^0$	1
$2=2^1$	10
$4=2^2$	100
$8=2^3$ и т. д.	1000 и т. д.

Переход $2^0 \rightarrow 2^1$ сопровождается в двоичном ряду переходом от однозначного разряда к двузначному: $1 \rightarrow 10$. Прибавлению еще одной единицы в степени, $2^2=4$, соответствует в двоичном ряду переход из двузначного разряда в трехзначный: $11 \rightarrow 100$. Появляется третья степень, $2^3=8$, и вместе с этим прибавляется новый разряд в двоичном ряду: $111 \rightarrow 1000$ и т. д.

Число нулей при единице в двоичных числах всегда оказывается равным показателю степени двойки в соответствующем десятичном числе: 2^0 $(=1)-1$; 2^1 $(=2)-10$; $2^2(=4)-100$; $2^3(=8)-1000$; следовательно, числу $64(=2^6)$ в двоичной системе соответствует 1 000 000, $512(=2^9)$ — 1 000 000 000. Если число, которое переводится из десятичной системы в двоичную, нельзя представить в виде степени числа 2, тогда берется ближайшее число, допускающее такое представление, и к нему прибавляется соответствующее число единиц. Например, $66(=2^6+2)$ соответствует двоичному $1\,000\,000+10=$ $=1\,000\,010$; $67(=2^6+5)-1\,000\,000+101=1\,000\,101$.

Изображение любых чисел при помощи двух знаков дает возможность сопоставлять их с комбинациями двух состояний электронных ламп; с проводящим состоянием сопоставляется 1, с непроводящим — 0. Описанным выше типам связей электронных ламп можно сопоставить следующие операции сложения:

$0+0=0$ $(3+3=3)$
$1+0=1$ $(0+3=0)$
$0+1=1$ $(3+0=0)$
$1+1=10$ $(0+0=03)$

Три первых случая сложения полностью соответствуют тому, что мы имеем в десятичной системе. В четвертом случае наблюдается уже некоторое расхождение: число 2, которое получается в результате сложения двух единиц в десятичной системе, выражается в двоичной, как мы помним, числом 10.

С помощью ламп можно производить и умножение, руководствуясь следующей таблицей:

$$0\times0=0$$
$$0\times1=0$$
$$1\times0=0$$
$$1\times1=1$$

К этим простым действиям с 0 и 1 сводятся все математические операции.

При составлении программы для электронной машины все задания, которые она должна выполнить, выражаются прежде всего на «языке», «понятном» машине, т. е. в виде комбинаций знаков 0 и 1. На этом «языке» они записываются и на перфокарты (или перфоленты): наличие отверстия соответствует 1, отсутствие его — 0.

Логика

Итак, человек построил машины, с успехом заменяющие его как в регулировании сложнейших процессов, так и в решении труднейших математических задач.

Как же обстоит дело с автоматизацией процесса мышления вообще? Удалось ли человеку создать машины, способные заменить его в процессе рассуждения?

Появление современных автоматов, которые могут решать задачи логического характера, было бы невозможно без крупных успехов в развитии науки логики. Формально-логические отношения, установленные Аристотелем, были недостаточны для анализа логических проблем науки. Поэтому логические машины, основанные на этих отношениях, оказались, как мы видели, практически мало полезными. С середины прошлого века стала бурно развиваться новая логическая теория, так называемая символическая, или математическая, логика. Основатели ее Джон Буль и др. стремились разработать логическое исчисление, т. е. создать такой логический аппарат, который позволил бы оперировать с мыслями так же, как, например, в математике оперируют с алгебраическими символами (*a*, *в*, *c* ... и т. д.). Алгебраические символы

мы можем складывать друг с другом, перемножать и т. д. Но разве можно складывать и перемножать мысли? Оказывается, что в известном смысле можно.

Рассмотрим, например, две такие мысли: «Семенов имеет среднее образование» и «Семенов имеет производственный стаж». Мы можем объединить эти две мысли в одну с помощью союза «и». В результате такого объединения получим новое суждение: «Семенов имеет среднее образование и производственный стаж».

Такая операция в логике носит название *конъюнкции*. Если исходные суждения обозначить A и B, то их конъюнкция будет выражаться как $A \wedge B$, где $\wedge$ — знак конъюнкции.

Когда конъюнкция будет истинна? Конечно, тогда, когда будут истинными все входящие в ее состав компоненты. В нашем примере конъюнкция будет истинной, если верно и то, что Семенов имеет среднее образование, и то, что он имеет производственный стаж. Если хотя бы одна из этих исходных мыслей ложна, ложной будет и вся конъюнкция.

Это отношение можно выразить с помощью таблицы:

A	B	$A \wedge B$
и	и	и
и	л	л
л	и	л
л	л	л

Первая строчка таблицы означает, что если исходные суждения A и B истинны (истинность обозначается буквой «и»), то конъюнкция $A \wedge B$ истинна. Во второй строчке говорится о том, что истинность A и ложность B приводит к ложности $A \wedge B$, и т. д.

Мысли можно объединить не только с помощью союза «и». Для этой цели пользуются также разделительным союзом «или». Например, суждения «Семенов имеет производственный стаж» и «Семенов сдал вступительные экзамены на отлично» можно объединить в суждение: «Семенов имеет производственный стаж или сдал вступительные экзамены на отлично». Такое объединение суждений называется *дизъюнкцией* и обозначается знаком $\vee$. Необходимо

отметить, что союз «или» в математической логике употребляется в соединительно-разделительном смысле, т. е. утверждение «или то, или это» всегда предполагает возможность «и то и другое вместе».

Для истинности дизъюнкции необходимо, чтобы была истинной хотя бы одна из составляющих ее мыслей. Если истинны суждения «Он имеет производственный стаж» и «Он сдал экзамены на отлично», то истинно и дизъюнктивное суждение «Он имеет производственный стаж или сдал экзамены на отлично». Если истинно только одно из составляющих суждений, то дизъюнкция все равно будет истинной. Ложной она будет только в случае ложности обоих входящих в ее состав суждений. Все это можно выразить в виде таблицы:

A	B	$A \vee B$
и	и	и
и	л	и
л	и	и
л	л	л

Нетрудно согласиться с возможностью объединения различных мыслей в одну мысль. Но все же при чем здесь математическое сложение и умножение? Ведь как будто бы сложение и умножение чисел происходит по совершенно другим законам, чем объединение мыслей в конъюнкцию или дизъюнкцию?

Оказалось, что это не так. Законы сложения и умножения, с одной стороны, и дизъюнкции и конъюнкции, с другой, обнаружили поразительную аналогию.

Основными соотношениями, на основе которых определяются все известные способы оперирования обычными алгебраическими выражениями, являются следующие:

$$\text{(I)} \qquad a + в = в + a$$
$$a \cdot в = в \cdot a$$

Эти отношения выражают *коммутативность* сложения и умножения;

$$\text{(II)} \qquad (a + в) + c = a + (в + c)$$
$$(a \cdot в) \cdot c = a \cdot (в \cdot c)$$

— так называемая *ассоциативность* сложения и умножения;

$$\text{(III)} \qquad a \cdot (b + c) = (ab) + (ac)$$

— *дистрибутивность* умножения относительно сложения.

Но то же самое имеет место и для логических действий. Заменим сложение дизъюнкцией, а умножение конъюнкцией.

Получим формулы:

$$A \vee B = B \vee A$$
$$A \wedge B = B \wedge A$$
$$(A \vee B) \vee C = A \vee (B \vee C)$$
$$(A \wedge B) \wedge C = A \wedge (B \wedge C)$$
$$A \wedge (B \vee C) = (A \wedge B) \vee (A \wedge C)$$

Верны ли полученные формулы? Нетрудно убедиться, что да. Истинность конъюнкции и дизъюнкции не зависит от того, в каком порядке перечисляются их компоненты. Компоненты можно заключать в скобки произвольным образом. Наиболее сложным является последнее из написанных выше выражений. Оно также истинно. Например, пусть A означает «Он имеет среднее образование», B — «Он имеет стаж работы», C — «Он сдал приемные экзамены на отлично».

Левая часть формулы будет означать: «Он имеет среднее образование и либо у него есть производственный стаж, либо он сдал приемные экзамены на отлично».

Ясно, что это будет эквивалентно следующему выражению: «Или он имеет среднее образование и стаж работы, или он имеет среднее образование и сдал приемные экзамены на отлично».

И то и другое выражения формулируют условия приема во многие институты.

Поскольку формулы I—III полностью определяют сложение и умножение в элементарной алгебре, то любой алгебраической формуле, относящейся к сложению и умножению, мы можем сопоставить соответствующую логическую формулу, включающую дизъюнкцию и конъюнкцию. Например, напишем такое алгебраическое выражение: $abc+bcd=(a+d)bc$. Подставив вместо символов a, b, c, d суждения, вместо знака умножения — конъюнкцию, а вместо сложения — дизъюнкцию, получим истинное логическое выражение.

Вследствие рассмотренной аналогии конъюнкцию называют также логическим умножением, а дизъюнкцию — логическим сложением.

Однако необходимо отметить, что аналогия между логическим и обычным алгебраическим сложением и умножением далеко не полная. Логическим отношениям присущи некоторые свойства, которыми не обладают алгебраические. Если в алгебре перемножение и сложение двух одинаковых величин дает разные результаты: $a \cdot a = a^2$; $a + a = 2a$, то в логике конъюнкция двух одинаковых мыслей дает такой же результат, как и их дизъюнкция: $a \wedge a = a$; $a \vee a = a$ («на улице тепло» и «на улице тепло» = «на улице тепло»; «на улице или тепло, или тепло» = «на улице тепло»). Алгебраическое произведение и сумма какой-либо величины самой с собой, вообще говоря, не тождественны друг другу: логическое произведение и сумма мысли самой с собой тождественны той же мысли. Поэтому в логике не имеет смысла понятие степени.

С другой стороны, в логике есть такие действия, которые не имеют прямого аналога в элементарной алгебре.

Такова чрезвычайно простая, но вместе с тем очень важная *операция отрицания*. Она состоит в том, что в одном утверждении отвергается другое: «Он сдал экзамен» — «Он не сдал экзамена» = «Неверно, что он сдал экзамен». Отрицание обозначается горизонтальной черточкой над соответствующим символом. Если A — исходное суждение, то его отрицанием будет $\bar{A}$.

Когда A истинно, $\bar{A}$ ложно, и наоборот. Это выражается в виде таблицы:



A	$\bar{A}$
и	л
л	и

Конъюнкция, дизъюнкция и отрицание являются основой всех действий символической логики. К ним сводятся все другие логические операции, подобно тому, как различные алгебраические операции сводятся к сложению и вычитанию. Возьмем в качестве примера логическое отношение, называемое *импликацией*. Оно выражает такую связь между двумя высказываниями, при которой нельзя принимать первое и отвергать второе. Например, если суждения «У него высокая температура» и «Он болен» находятся в отношении импликации, тогда, принимая

первое утверждение — «У него высокая температура», мы должны согласиться и со вторым — «Он болен». В языке это отношение выражается обычно с помощью союзов «если... то»: «Если у него высокая температура, то он болен».

Необходимо подчеркнуть, что конкретное содержание высказываний с точки зрения символической логики в данном случае роли не играет. Пусть мы имеем суждения «Дважды два — четыре» и «Волга впадает в Каспийское море». Если мы уверены в истинности последнего из них, то должны признать несомненной и импликацию «Если дважды два — четыре, Волга впадает в Каспийское море», хотя с точки зрения обычной логики здесь нет никакой логической связи. Символически импликация выражается формулой $A \rightarrow B$.

Если $A \rightarrow B$, т. е. всякий раз, когда есть A, есть и B, то это значит, что если нет B, нет и A (если бы было A, было бы и B). Это равносильно отрицанию конъюнкции $\overline{B} \wedge A$: при отсутствии B не может быть A. Таким образом, импликацию можно свести к уже знакомым нам операциям отрицания и конъюнкции: $\overline{\overline{B} \wedge A}$.

Ложной импликация будет только в том случае, если первое суждение оказывается истинным, а второе — ложным. Во всех остальных случаях импликация истинна. Это выражается в таблице:

A	B	$A \rightarrow B$
и	и	и
и	л	л
л	и	и
л	л	и

Наличие некоторых несоответствий между логическими и математическими соотношениями не мешает использованию аналогии между логикой и математикой в тех случаях, когда она имеет место. Возможность сведения к простому алгебраическому сложению и умножению логической конъюнкции и дизъюнкции позволила использовать электронные счетные машины для выполнения логических операций, что явилось одной из важнейших предпосылок появления общей науки об автоматах.

Языкознание Основой логических, так же как и алгебраических, операций является формализация, благодаря которой и создается принципиальная возможность их автоматизировать. Если бы процессы вычислений и выводов зависели от качества и содержания тех предметов и мыслей, над которыми производятся определенные алгебраические или логические действия, если бы для подсчета оленей требовались одни формулы, людей — другие, пуговиц — третьи и т. д., для выводов, относящихся к мыслям о людях,— одни правила, о животных — другие, о растениях — третьи и т. д., то, конечно, никакой речи об автоматизации не могло бы быть. Машина выполняет только строго формальные требования, по определенным, точно заданным ей формулам: $a+b=b+a$, независимо от того, какому количеству равно a и какому b и о каких именно предметах идет речь. S есть P; если S есть M и M есть P, независимо от того, какие понятия выражают собой S, P и M. Такого рода соотношения всегда могут быть представлены в виде комбинаций знаков, «понятных» машине.

Но вычислением и логическими рассуждениями, как уже говорилось, далеко не исчерпывается вся умственная работа человека. Мышление имеет много других сторон, среди которых одной из важнейших является языковая деятельность, выражение мыслей и обмен мыслями с помощью языка.

Можно ли автоматизировать эту сторону человеческой деятельности, если не целиком, то хотя бы частично? Очевидно, ответ на этот вопрос связан с возможностями формализации языковых процессов. Существуют ли в языке общие, формальные соотношения, аналогичные тем, которые имеют место в алгебре и логике?

Все знают, что в процессе обмена мыслями человек выражает различные понятия с помощью неодинаковых слов. Каждый язык состоит из слов. Но процесс речи отнюдь не заключается в произвольном перечислении их одного за другим, вне какого-нибудь определенного плана. Если выучить все слова того или иного языка в том виде, как они даны в словаре, и только, это еще далеко не будет означать овладения языком, умения пользоваться им для передачи другим своих мыслей. Чтобы выразить мысль на языке, нужно знать не только сами слова, но и то, как их следует употреблять. В процессе

общения люди пользуются не отдельными словами, а предложениями, которые составляются из слов по известным правилам. Эти правила должны соблюдаться каждым, кто хочет, чтобы его мысль была понята другими. Если нам скажут: «Человек, собака, бояться», мы поймем, что речь идет о человеке, о собаке и о том, что кто-то из них боится другого; но кто именно боится, человек собаки или собака человека, остается неясным, а это—момент весьма существенный для смысла данной фразы. Такое перечисление слов нельзя назвать предложением. В нем содержатся слова, но отношения между ними, связь их друг с другом неясна, поэтому никакой определенной мысли оно не выражает. Чтобы сделать мысль понятной, мало перечислить все слова, необходимо привести их в соответствие с определенными правилами построения предложения. В данном случае слово «человек» можно поставить в именительном падеже, глагол «бояться» — в 3-м лице, единственном числе и настоящем времени и существительное «собака» — в родительном падеже: «Человек боится собаки». Здесь мысль выражена ясно. Это достигнуто благодаря тому, что каждое слово заняло свое определенное место в предложении, каждое слово поставлено в определенной *форме* и высказывание в целом выражает конкретные *отношения* между предметами, обозначаемыми данными словами.

Что же представляет собой форма в языке?

Сравним ряд слов: пишет, читает, рисует, гуляет, желает ... или: видит, ходит, говорит, смотрит, носит, косит и т. д. Все эти слова — глаголы, причем глаголы, как видим, совершенно разные. Но при всем своем различии они имеют нечто общее между собой, а именно окончания **-ет**, **-ит**. То, что отличает эти слова друг от друга, относится к их смыслу, к выражаемому ими значению, а общим для всех является форма, то, что остается в результате отвлечения от этих конкретных значений. Окончания **-ет**, **-ит** никакого вещественного значения не имеют. Они показывают только, что все эти глаголы, независимо от того, какое действие или состояние они выражают, стоят в данном случае в 3-м лице, единственном числе, в настоящем времени.

Точно так же у таких различных по смыслу существительных, как учитель, читатель, писатель, смотритель, водитель, деятель и т. д., совершенно отчетливо выделя-

ется общий элемент — суффикс **-тель**, обозначающий действующее лицо, независимо от того, о каком именно действии идет речь.

Прилагательные «белый», «розовый», «теплый», «смелый», «гордый» и т. п. выражают различные качества. Отвлекаясь от их содержания, от их конкретного вещественного смысла или, как говорят в языкознании, их лексического значения, мы получаем общий им всем формальный элемент **-ый**, показывающий, что эти прилагательные мужского рода, единственного числа стоят в именительном падеже.

Сами понятия «глагол», «существительное», «прилагательное» связаны с выделением формальных признаков слов на основе отвлечения от их содержания. Правда, лексическое значение здесь играет известную роль. Глаголы чаще всего обозначают действие или состояние, существительные — предметы, прилагательные — качества, свойства. Но этот момент не является определяющим в данном случае. Такие слова, как «ходьба», «чтение», «сон» и т. п., выражают собой действие или состояние, но являются существительными, а не глаголами. Существительные «мужество», «прочность», «красота» в такой же мере обозначают качества, как прилагательные «мужественный», «прочный», «красивый». Слова «белый», «белить», «белизна» являются разными частями речи, хотя содержание той их части, которая остается после отделения формальных элементов **-ый**, **-ить**, **-изна**, одинаково у всех трех. Именно эта формальная сторона и определяет в приведенных примерах отнесение слов к глаголам, существительным или прилагательным.

Академик Л. В. Щерба привел интересный пример для иллюстрации относительной самостоятельности языковой формы по отношению к лексическому содержанию: «Кудлатая бокра штеко будланула тукастенького бокреночка». Конкретный, лексический смысл этой фразы, естественно, непонятен, поскольку она составлена не из обычных слов, а из искусственно сочиненных. Но эти выдуманные слова поставлены в обычных для русского языка формах, поэтому соотношения между элементами фразы совершенно ясны. Слово «бокра» является, несомненно, существительным женского рода, единственного числа, стоящим в именительном падеже, «кудлатая» — прилагательное, согласованное с ним, «штеко» — наречие, «буд-

ланула» — глагол и т. д. Этот пример показывает, что можно анализировать формальные отношения между элементами языка совершенно независимо от их содержания.

Формализация в языке распространяется не только на слова, но также на их сочетания и на целые предложения. Выражения «гнезда птиц» и «птичьи гнезда», «хорошо читать» и «хорошее чтение» относятся наукой о языке к разным типам словосочетаний, что целиком определяется различием формы этих сочетаний, так как понятия, обозначаемые ими, в том и другом случае одни и те же. Мы различаем предложения простые и сложные, сложносочиненные и сложноподчиненные не по признаку их содержания, а исключительно на основе их формальной структуры.

Таким образом, как алгебраические формы были получены путем отвлечения от качеств отдельных предметов, логические формы — в результате отвлечения от содержания отдельных мыслей, так и языковые формы явились результатом абстракции от лексических значений и конкретного смысла отдельных слов и предложений.

Главным признаком, самым существенным свойством языковой формы, как всякой формы вообще, является то, что она не существует сама по себе, а составляет всегда одно из звеньев в цепи связей с другими формами. Каждая языковая форма находится в определенных соотношениях с другими элементами языка. Мало того, она лишь постольку и является таковой, поскольку существуют эти отношения ее к другим формам.

Возьмем, например, приведенные выше прилагательные. Почему их считают прилагательными мужского рода? Потому, что с окончанием -ый можно сопоставить формы -ая, -ое, являющиеся показателями женского и среднего рода. Если бы не было этих форм, если бы все прилагательные имели окончание мужского рода -ый, можно ли было бы в этом случае вообще говорить о форме мужского рода? Конечно, нет. Никому не приходит в голову говорить о роде прилагательных в английском языке, где нет особых форм для разных родов. Таким образом, если остается форма одного рода, вне ее отношения к формам других родов, то тем самым эта форма как таковая уничтожается, остается в данном случае лишь понятие о форме прилагательного.

А почему можно говорить о формах прилагательного? Потому, что их можно сопоставить с формами глаголов, существительных и т. д. Если бы все слова имели окончание **-ый**, как прилагательные в мужском роде, или **-ить**, как глаголы в неопределенной форме, и не было при этом никаких других различительных формальных признаков, тогда бессмысленно было бы говорить о формах различных частей речи, в том числе о форме самого прилагательного или глагола. Неопределенная форма глагола существует лишь постольку, поскольку имеются личные формы, которые ей противополагаются: читать — читаю, писать — пишу; формы «читаю», «пишу» являются личными, так как существуют формы 2-го и 3-го лица: читаешь, читает и т. д. Мы говорим о настоящем времени глагола «читает», потому что есть форма «читал», «прочтет». Если бы для всех лиц и времен употреблялась, скажем, форма 1-го лица настоящего времени, то не было бы в языке ни личных, ни временных форм, в том числе, конечно, и формы 1-го лица настоящего времени. Остались бы просто формы глагола, которые существовали бы как таковые лишь в их отношении к формам существительных, прилагательных, наречий.

Отсюда, каждая языковая форма не только связана с другими формами, но и определяется ими. Это относится и к самым крупным единицам языка — предложениям — и к мельчайшим его элементам — звукам. О простых предложениях можно говорить постольку, поскольку существуют сложные, о сложносочиненных — поскольку есть сложноподчиненные. Наименьшие единицы языка — звуки — выполняют свою роль благодаря тому, что каждый из них связан определенным образом с другими. Звуки, как известно, изображаются на письме буквами. Русский алфавит содержит 33 буквы. А сколько звуков в русском языке? Языковеды отвечают, что в каждом языке употребляется бесчисленное множество звуков. Нет двух людей, которые могли бы произнести совершенно одинаково два звука. Каким же образом можно изобразить на письме все эти звуки с помощью каких-то 33 букв?

Дело в том, что передавать буквами все звуки нет необходимости. Разные звуки могут играть в языке одинаковую роль, выполнять одну и ту же функцию. Различаясь между собой акустически, они совершенно

одинаковы с точки зрения их отношения к другим звукам. Например, звук «о» в русском языке можно произнести кратко, а можно протянуть. Отдельно от других они, конечно, различаются между собой, но, произнесем ли мы слово «дом» с «о» кратким или долгим, смысл его от этого не изменится. С этой точки зрения «о» краткое и «о» долгое не отличаются друг от друга, они выполняют одну и ту же роль. Но если «о» в слове «дом» заменить на «а», тогда изменится смысл: «а» отличается от «о» уже не только акустически, но и по той роли, которую этот звук играет в слове. Звук «д» некоторые произносят с легким призвуком «ж». Эта замена также не играет никакой роли для смысла слова «дом». Но если «д» заменить на «т», получится совсем другое слово. Таким образом, «о» краткое и «о» долгое, так же как звуки «д» и «дж», в русском языке с точки зрения смыслового различия играют одну и ту же роль. Это, как говорят в языкознании, два варианта *одной* фонемы. Поэтому они и выражаются на письме одной буквой. Звуки «о» и «а», «д» и «т» выполняют разные функции, замена одного из них другим изменяет смысл слова. Это уже две разные фонемы, в связи с чем каждый из этих звуков должен быть обозначен особо. Таким образом, главную роль играют здесь не физические свойства звуков, а их отношения к другим звукам.

Все эти отношения образуют сложную совокупность формальных связей между языковыми элементами, так называемую *структуру* языка.

Изучению формальной стороны языка, его структурному анализу уделяется все больше и больше внимания в науке о языке. В последнее время достигнуты значительные успехи в этой области, особенно в трудах представителей одного из виднейших направлений современного языкознания — структурализма. Как показывает само название, основным предметом внимания этого направления является язык как структура, как совокупность формальных отношений.

Формализация в языке, так же как в математике и логике, дает ряд существенных преимуществ. Во-первых, она обеспечивает точность всех операций, освобождая их от влияния тех или иных моментов, препятствующих строгому соблюдению правил. Если бы логика оперировала конкретными мыслями, на результаты выводов неиз-

бежно влияли бы, например, желания и стремления людей, их личная заинтересованность в том или другом выводе. Замена мыслей символами полностью исключает такого рода помехи. То же самое в языке. Правило о том, что после точки в русском языке все слова пишутся с заглавной буквы, выполняется совершенно точно, не вызывая никаких сомнений, поскольку в основу его положен формальный признак. Но если написание слова с большой или маленькой буквы зависит от таких содержательных моментов, как, например, степень любви или уважения к соответствующему лицу, предмету, событию, то в этом случае соблюсти точность выполнения правила уже гораздо труднее.

Обеспечивая точность операций, формализация вместе с тем облегчает их, значительно упрощая процесс их осуществления. Возьмем, например, такую важную сторону языковой деятельности человека, как перевод с одного языка на другой. Знание грамматики языка, понимание формальных отношений между его элементами во много раз облегчает процесс перевода. В разобранном выше примере Л. В. Щербы известны только эти формальные соотношения между членами предложения. И уже по ним можно с абсолютной точностью заключить, что речь идет о таком-то одушевленном существе, которое так-то и то-то сделало по отношению к своему такому-то детенышу. Почему «сделало», а, скажем, не «делает» или «сделает»? Потому, что «будланула» имеет явную форму прошедшего времени.

Благодаря формализации может быть осуществлена такая, казалось бы, невероятная операция, как правильный перевод с иностранного языка без понимания или почти без понимания смысла переводимого. Предположим, что человек должен перевести какой-то сугубо специальный технический текст. Он не имеет при этом никакого представления о данной отрасли техники, не знает ее терминологии, но располагает хорошим техническим словарем и знанием формальной грамматической структуры соответствующего иностранного языка. Процесс перевода будет состоять в таком случае, во-первых, в отыскании по словарю необходимых слов и передаче их соответствующими терминами родного языка, во-вторых, в преобразовании грамматических элементов иностранного языка в соответствующие грамматические показатели

родного. Смысл терминов, содержание текста в целом, суть технических процессов, описываемых в тексте, он может при этом не понять, но перевод сделать правильно. Работа со словарем, в котором каждый термин имеет одно определенное значение,— а в технике чаще всего бывает именно так—здесь основана не на понимании смысла, а на установлении формальных соответствий между словами иностранного и родного языка; при переводе грамматики человек также имеет дело не со смысловыми, а с формальными отношениями. Конкретное содержание, смысл переводимого в том и другом случае если не исключается из процесса перевода, то отодвигается на второй план.

Конечно, говорить о полном отвлечении от содержания при переводе текста с более или менее известного иностранного языка на родной рискованно. Как ни мало знаком человек с данной специальностью, все же кое-что он может понимать и наряду с формальными устанавливать какие-то смысловые связи. Но это не значит, что перевод с одного языка на другой без понимания смысла переводимого в принципе неосуществим. Нетрудно показать, что хотя бы в некоторых простейших случаях он возможен.

Полную гарантию от понимания смысла текста может дать перевод с совершенно незнакомого языка на другой, в такой же мере незнакомый. Возможна ли такая операция? При должной степени ее формализации возможна. Предположим, что греческую фразу, которую мы напишем в латинской транскрипции, «Ho grammaton apeiros u blepei blepon» должен перевести на латинский язык человек, который не знает ни того, ни другого языка. Он сможет это сделать, если в его распоряжении будет приблизительно такой словарь основ и окончаний:

Греческий	Латинский
Основы	
apeir-	imperit-
blep-	vide-
gramm-	litter-
ho	—
ū	non
Окончания	
-aton	-arum
-ei	-t
-os	-us
-ōn	-ns

В этом случае можно осуществить перевод вышеприведенной фразы следующим образом. Берем первое слово греческого текста — **ho** и сравниваем его с первым словом словаря основ. Видим, что они не совпадают. Переходим ко второй основе — совпадения опять нет, переходим к следующей, и так, пока не дойдем до четвертого слова, которое оказывается искомым. Смотрим, что́ ему соответствует в латинской части словаря; оказывается, никакого соответствия нет (черта). Оставляем данное слово без перевода и переходим ко второму — **grammaton**. Путем последовательного сравнения находим на третьем месте словаря основу **gramm-**, совпадающую с большей частью нашего слова. В латинской части словаря ей соответствует основа **litter-**, которую и пишем как начало нашего перевода. Затем берем оставшуюся часть нашего слова — **-aton** и ищем ее в словаре окончаний, где она оказывается на первом месте. Ей соответствует латинское **-arum**, которое мы и приставляем к ранее найденной латинской основе, в результате чего получаем слово **«litterarum»**.

Переходим к следующему слову греческого текста. Находим в словаре основу **apeir-** и ее соответствие в латинском словаре **imperit-**; затем по словарю окончаний находим остальную часть слова — **-os**. В латинской части словаря ей соответствует **-us**. Получаем второе слово перевода—**«imperitus»**. Следующее слово греческой фразы —**«ū»**, как оказывается, целиком совпадает с последним словом словаря основ. Ему соответствует целое латинское слово **«non»**. Теперь остаются два слова, которые переводим подобно предыдущим. Слово **«blepei»** переводится как **«videt»**, **«blepon»** — как **«videns»**. В результате получаем латинскую фразу **«Litterarum imperitus non videt videns»**, что в переводе на русский язык означает: «Несведущий в науках и видя не видит».

Как видим, перевод может осуществляться чисто механически, без всякого понимания смысла. Однако такой способ перевода представляет собой очень скучное и утомительное занятие, требующее большой траты сил и времени.

Рассмотренный пример, конечно, не доказывает, что любой текст можно перевести таким образом. Здесь берется всего одна фраза, причем между греческими и латинскими элементами имеется в данном случае однозначное соответствие. Составить таблицу формальных соотношений

при таких условиях очень легко. Можно ли полностью формализовать процесс перевода применительно к языку в целом? К этому вопросу мы еще вернемся. Теперь же следует лишь подчеркнуть, что определенные возможности формализации и, следовательно, автоматизации языковых операций, несомненно, существуют, что по крайней мере в известных более или менее ограниченных рамках возможен чисто формальный перевод с одного языка на другой, без понимания смысла переводимого.

Физиология и психология

Помимо рассмотренных есть много других сторон человеческой деятельности не менее трудных и важных. Существует ли возможность автоматизации хотя бы некоторых из них?

Автоматизировать, поручить машине можно только те действия, которые в принципе осуществимы без непосредственного участия сознания человека. Поэтому, чтобы ответить на поставленный здесь вопрос, нужно прежде всего посмотреть, нет ли в организме человека таких физиологических и психологических процессов, которые были бы аналогичны автоматическим.

Деятельность человека осуществляется в основном сознательно. Прежде чем совершить какой-нибудь поступок, человек ставит перед собой цель, осознает причины, заставляющие совершать его. В каждый момент человек регулирует свое поведение, отдельные свои действия в соответствии со стоящей перед ним целью. Студент, готовясь к экзаменам, читает необходимую литературу, конспектирует ее, оценивает уровень своих знаний по тому или иному вопросу, консультируется с преподавателем.

Но не вся деятельность протекает у человека сознательно. Так, люди не могут по своему усмотрению, например, бледнеть или краснеть. Тем более, они не в состоянии воздействовать сознанием и волей, скажем, на свое пищеварение или кровообращение. Все внутренние процессы в организме человека, за исключением дыхания, не могут регулироваться сознанием. Они «автоматически» регулируются определенными центрами в коре головного мозга.

Автоматизм, бессознательная деятельность распространяется не только на внутренние органы, но и на мускулатуру человека, его руки, ноги и другие внешние органы. Слушая внимательно лекцию, доклад или сосредоточенно думая о чем-нибудь, человек нередко вместе с тем усердно

работает карандашом или ручкой, но то, что записывает в это время его рука, очень далеко от того, о чем он думает, чем занято его сознание. Если спросить этого человека, что он пишет, он не сможет ответить и, только посмотрев на листок, с удивлением обнаружит там причудливые фигурки, или один и тот же рисунок, много раз повторенный, или, наконец, множество собственных подписей. Люди бессознательно напевают какие-нибудь мелодии, делают те или иные движения носом, глазами, ртом. Некоторые из таких движений становятся для них привычкой: привычка напевать или наигрывать пальцами мелодии, черкать на бумаге, на газете, на книгах или, если нет под рукой ни того, ни другого, прямо на столе, привычка катать шарики между пальцами.

Во всех этих случаях мы имеем дело с чисто машинальными действиями, не связанными с определенной целью. Значит ли это, что только в них и возможен автоматизм, а целенаправленная деятельность исключает такую возможность? К счастью, не значит, иначе многие из тех целей, которые были поставлены и достигнуты человеком, оказались бы недостижимыми. Представим себе воздушного гимнаста, когда он, раскачавшись на трапеции, неожиданно отрывается от нее, делает в воздухе сальто и перелетает на другую трапецию, или канатоходца, который танцует на протянутом в воздухе канате.

Для выполнения такого номера необходима исключительная точность и четкость движений всех частей тела и совершенно безошибочная ориентировка в пространстве. Чтобы ее достигнуть, требуются многие годы терпеливого обучения и упорной тренировки. Каждое новое упражнение разучивается под контролем сознания, любое движение сознательно анализируется и совершенствуется, осознается как характер движений, так и порядок их следования. При этом, чем точнее отражается в сознании отрабатываемое движение, тем успешнее протекает обучение.

Но в процессе тренировки, выработки правильной системы движений они все менее и менее осознаются сами по себе, движение становится все более машинальным, автоматическим. Полностью овладев упражнением, спортсмен при его выполнении осознает только конечную цель. Он уже не задумывается, какое именно движение ему сейчас надо совершить,— одна комбинация движений автомати-

чески, без участия сознания сменяется другой. Здесь мы имеем дело с выработанными навыками, т. е. автоматизированным действием, включенным в сознательную деятельность человека. Только теперь, получив такой навык, гимнаст может выступать в цирке. Если бы на всех этапах тренировки, вплоть до последнего, требовался столь же строгий контроль сознания, как при начале обучения, человек не приобрел бы той непринужденности, свободы и уверенности в сложных переходах от одного движения к другому, без которых невозможно выполнение номеров, подобных описанным.

Автоматизм и навыки играют большую положительную роль в жизни людей. Они разгружают сознание человека, освобождают его от управления всеми мелкими деталями, дают ему возможность сосредоточиться лишь на основных моментах своей деятельности и ее целях. Представим себе пилота, который не овладел навыками вождения самолета. Ведь в полете он должен следить сразу за двумя десятками приборов и еще вести машину. Если бы каждая отдельная операция требовала контроля сознания, работа летчика была бы практически невыполнимой. Но для летчика, прошедшего специальный курс обучения, в этом нет необходимости. Большую часть действий он совершает автоматически, осознавая лишь цели этих действий. Полностью сознание включается только при особых обстоятельствах, например при каких-либо ненормальных условиях полета, т. е. в тех случаях, когда не может действовать ранее приобретенный навык.

Автоматизируются не только движения человека, но в той или иной степени и психические процессы, протекающие в его организме. Когда мы видим вдали людей, дома, животных, они не кажутся нам игрушечными, мы представляем их себе точно такими, какими видим их вблизи. Но это представление есть результат уже приобретенного навыка воспринимать предметы именно так, а не иначе, своего рода психический автоматизм. Дети, у которых еще не успел выработаться этот навык, воспринимают отдельные предметы такими, какими они им кажутся, т. е. очень маленькими. Пятилетняя девочка, совершающая свое первое путешествие по железной дороге, видит за окном вагона не обычных людей и животных, а живых «игрушечных» лошадок и человечков. Эта

девочка, став взрослой, пытается вернуть забавную иллюзию, но она не возвращается, так как автоматически, в силу приобретенного опыта воспринимаемый издали предмет преобразовывается в натуральный.

С группой студентов проводился такой опыт. Им было предложено рассматривать предметы через очки, в которых выпуклые поверхности казались вогнутыми и наоборот. Маска человеческого лица, рассматриваемая через эти очки, приобрела чудовищно безобразный вид. А лицо человека? Совсем нет. Лицо человека воспринималось таким же, как и без очков. Изображение вопреки очкам, в силу имеющегося опыта, бессознательно, автоматически приобретало нормальный вид.

Автоматизироваться может не только процесс восприятия, но и память, речь, различные процессы мышления человека. Мы бессознательно запоминаем множество фактов, лиц, событий; мы упорно повторяем вслух и про себя какую-нибудь фразу или мелодию, хотя сознательно всеми силами стараемся избавиться от них. Если незнакомого типа задача решается целиком и полностью сознательно, то при решении большого количества однотипных задач процесс мышления неизбежно автоматизируется. Если новичок в шахматной игре долго думает над каждым ходом как своим, так и своего партнера, то опытный шахматист может отвечать на ходы противника почти не задумываясь. Большой интерес представляют в этой связи такие факты, как разрешение во сне какой-то трудной задачи, которую человек безуспешно пытался решить перед сном. Известно, что В. Маяковскому, после того как он долго и мучительно думал над одним стихотворением, удалось сочинить желаемые строки только во сне.

По свидетельству современников, сон, приснившийся Д. И. Менделееву, сыграл значительную роль в оформлении сделанного им открытия периодической системы элементов в виде таблицы.

Особым видом автоматизма является поведение человека под влиянием гипноза. Загипнотизированный бессознательно совершает сложные действия по приказанию гипнотизера.

В основе всех описанных явлений автоматизма лежит так называемая система временных связей. Человек постоянно подвергается разного рода воздействиям со стороны окружающего его мира. Эти воздействия раздражают

те или иные органы чувств— рецепторы— и через центростремительные нервные пути передаются в центральную нервную систему, возбуждая соответствующие участки наиболее развитой ее части — коры головного мозга. Далее возбуждение переходит на двигательные пути и вызывает ответные реакции со стороны организма. В желудок поступает пища — начинает выделяться желудочный сок; услышав свое имя, человек оборачивается; ударят его — он сердится, плачет и т. д. Такого рода реакции носят врожденный характер. Они называются *безусловными рефлексами*.

Когда действуют одновременно два раздражителя, возбуждаются и два участка коры. Если это повторять несколько раз, то между этими участками коры возникает определенная связь, которая называется временной. В результате этой связи при действии только одного из раздражителей возбуждаются оба участка коры, вызывая соответствующую реакцию. Например, если всякий раз при кормлении, скажем, животного или ребенка зажигать лампочку, то в конце концов желудочный сок будет выделяться только при зажигании лампочки, без всякой пищи. Вырабатывается так называемый *условный рефлекс*. Аналогичным образом возникают навыки и автоматизмы. В мозгу летчика создается определенная связь между тем, что он видит, и движениями его рук и ног; в голове шахматиста — связь между ходами противника и его собственными. Если летчик перестанет летать, шахматист прекратит играть, то со временем эти связи исчезнут, условные рефлексы и навыки, выработанные на их основе, постепенно ослабнут.

Жизнь человека, как сознательная, так и бессознательная, подчиняется законам высшей нервной деятельности, разработанным академиком И. П. Павловым. Она находится в постоянных закономерных отношениях с внешним миром. Всякое изменение внешних условий вызывает соответствующие изменения в деятельности человеческого организма. Внешняя среда, подавая те или иные сигналы в кору головного мозга и вызывая соответствующие ответные реакции, регулирует таким образом деятельность человека. Определенные внешние условия обусловливают определенные реакции. Закономерный характер всех процессов — это то общее, что имеется у человека и машины. Машинообразность поведения чело-

века, закономерный характер его реакций, неизменность их по отношению к постоянным условиям дают возможность *предвидеть* психические процессы, которые будут протекать у человека при тех или иных определенных условиях. Это делает возможной постановку вопроса об описании закономерностей нервной системы в математических формулах и вполне обосновывает детальное исследование общих принципов деятельности автоматов и нервной системы.

III. КИБЕРНЕТИКА

1. Возникновение кибернетики

Все описанные выше теоретические данные до определенного времени оставались достоянием отдельных наук. Специалисты в одной области не имели представления о том, что происходит в другой. В известной мере это было и понятно. Прогресс науки связан с ее специализацией, так же как развитие промышленности — с разделением труда. Если раньше были такие ученые, как Аристотель, Леонардо да Винчи, Ломоносов, которые владели почти всеми известными тогда знаниями, то теперь научные завоевания стали так велики, что один человек не только не в состоянии быть одновременно физиком и логиком, математиком и психологом, но и охватить хотя бы одну из этих наук целиком. Научные знания так разрослись, что ученые стали специализироваться не в науке вообще, а лишь в отдельных ее областях. Это уже не физики или математики, а оптики и механики, алгебраисты и топологи. Каждый углубляется в свою специальность, не зная о том, что делается в других, поскольку каждая отрасль науки имеет свои специальные задачи и особые методы исследования.

Но при всей специфичности предмета каждой науки существуют закономерности, общие для самых различных областей знаний. Методы, используемые в одной из них, оказываются применимыми и в других. С развитием науки роль этого общего не только не уменьшается, а возрастает. Крупные научные открытия были сделаны благодаря объединению данных различных наук; появились такие пограничные отрасли, как физическая химия, биохимия, физическая астрономия.

Такие науки, как физика, химия, биология, близки между собой по своему содержанию, предмету исследования. Существует много процессов, в которых тесно переплетаются явления физические и химические, химические и биологические. Значительно дальше отстоят друг от друга психология и математика, математика и языкознание, физиология и логика. Однако и здесь имеется много общего.

Ученые постепенно убеждались в том, что отправной точкой для дальнейшего прогресса науки должно быть установление связей между всеми, даже самыми различными областями исследования. Незадолго до второй мировой войны в США образовалась группа ученых — представителей разных специальностей. В нее входили физики, математики, психологи, физиологи, врачи. Члены кружка ставили своей целью разработку общих вопросов науки, развитие пограничных специальностей, на почве которых могли бы перекрещиваться научные интересы каждого из них. Организатором объединения был мексиканский физиолог Артур Розенблют. В его работе принял участие известный математик Норберт Винер. Война прервала на некоторое время эту работу, но не прекратила ее совсем. В известной мере она даже способствовала появлению той общей науки, которую хотели создать участники объединения.

Во время второй мировой войны, когда немецкие самолеты сбрасывали бомбы на Лондон и другие английские города, необходимо было усовершенствовать зенитную артиллерию. Чтобы успешно управлять зенитным огнем, требовались приборы, с помощью которых можно было бы предсказать момент встречи снаряда с самолетом. Решить такую задачу далеко не просто, так как самолет постоянно меняет направление своего движения, а не летит по прямой линии. Если бы направление полета изменялось мгновенно, никакой речи о точном расчете времени встречи самолета со снарядом не могло быть. Но в данном случае изменения направления ограничены возможностями человека и машины. При слишком резком повороте пилот теряет сознание, а самолет разваливается. Такая опасность заставляет летчика замедлять скорость поворота, благодаря чему создается возможность рассчитать положение самолета в момент встречи его со снарядом. Это должно быть сделано очень быстро, со скоростью, значи-

тельно превышающей возможности человека. Для этой цели были созданы сверхбыстрые вычислительные машины. Вычисление стало средством управления огнем. Но направляет орудие в соответствии с показаниями вычислителя уже не машина, а человек-наводчик. Вместе с тем и движение самолета также управляется человеком. Таким образом, человек и машина составляют в данном случае единую систему управления. Чтобы ее описать, нужно знать характеристики того и другого.

В связи с этим возник целый комплекс проблем, касающихся общих закономерностей для механизмов и человека. Их решение требовало привлечения электроники, математики, математической логики, физиологии и психологии, а впоследствии языкознания. Новая область исследования, которая включала в себя данные самых различных наук, но не входила ни в одну из них, была названа *кибернетикой*, от древнегреческого слова «кибернетикос», что в переводе означает «кормчий», «рулевой». Термин «кибернетика» встречался и раньше, но употреблялся в другом, более узком смысле. Древнегреческий философ Платон называл кибернетикой искусство управления кораблем, а затем в переносном значении — искусство управления людьми. В этом же смысле употреблял его французский физик Ампер, называвший кибернетикой искусство управления государством.

Н. Винер, один из создателей новой науки, определяет ее как «теорию управления и связи в машинах и живых организмах». Это определение вызывает некоторые критические замечания. Дело в том, что связь в кибернетике изучается с точки зрения управления, а управление понимается как связь. Следовательно, наука о связи — это и есть наука об управлении. Кроме того, живые организмы могут иметь такие особенности управления, которых нет в машинах. Эти особенности не являются предметом кибернетики. Ее интересуют только те моменты управления, которые характерны для тех и других.

Кибернетика является наукой о закономерностях управления, общих для различных систем. Если физика, биология, физиология исследуют с разных сторон более или менее однородные, материально близкие друг другу предметы и явления, то кибернетика изучает различные объекты с одной определенной стороны. Они могут принадлежать к области физики, математики, электроники,

физиологии, социологии, но кибернетика не является ни физикой, ни математикой, ни электроникой, ни физиологией, ни социологией, ни одной из тех конкретных наук, данные которых она использует. Эти данные относятся не к тому, что отличает каждую отдельную науку от всех других, а к тому, что их объединяет. Такое объединение кибернетика осуществляет путем выделения в разных объектах общих для них моментов, путем нахождения так называемых *изоморфизмов*. Термин «изоморфизм» происходит от греческих слов «изос» — равный, одинаковый и «морфэ» — форма, образ, т. е. буквально обозначает «одинаковость формы» (независимо от материала и вообще содержания). Например, географическая карта изоморфна местности, которую она изображает. Естественно, по своему материальному существу они имеют очень мало общего, но формальные соотношения там и здесь одинаковы. Именно такого рода соответствия, общие закономерности управления, независимо от того, к каким конкретным системам они относятся, и интересуют кибернетику.

Одной из характерных черт метода кибернетики является использование *аналогий* между разными объектами. Это естественно. Ведь кибернетика находит общее в этих объектах, например общие закономерности в функционировании человека и машины. Но общность функций неизбежно обусловливает и общность некоторых других свойств, связанных с ними. Аналогия дает возможность использовать те соотношения, которые уже даны в природе, и избавляет от необходимости устанавливать их заново. В тех случаях, когда исследуется какая-либо новая область явлений, обладающая некоторыми общими признаками со старой, хорошо изученной областью, роль аналогии очень велика. Аналогия широко используется при создании новых типов машин, выполняющих те или иные функции живых организмов. Так, например, выбор наиболее целесообразной формы для подводных кораблей был облегчен аналогией с формой тела рыбы. При создании летающих аппаратов тяжелее воздуха Н. Е. Жуковский применял аналогию между аппаратом и птицей. Многие приборы, усиливающие действие наших органов чувств, аналогичны отдельным частям соответствующих органов даже по своей внешней форме. Например, части звукоуловителя, воспринимающие звуковые волны,

представляют собой в известной степени копию ушной раковины человека. Важнейший элемент всех увеличительных приборов — линза поразительно напоминает хрусталик нашего глаза.

Применение таких аналогий тормозится лишь слабой изученностью механизма действия самих органов чувств и всей нервной системы в целом. Успехи в изучении высшей нервной деятельности, достигнутые благодаря трудам И. П. Павлова, дают возможность более полного использования аналогии с нервной системой при создании механизмов, выполняющих те или иные ее функции.

Другой характерной чертой кибернетики является широкое применение математических методов. Проводимые ею аналогии кибернетика стремится обработать математически, устанавливая общие не только качественные, но и количественные закономерности. В этом отношении она сближается с физикой. Это не значит, однако, что, не зная сложного математического аппарата, ничего нельзя понять в кибернетике. Основные идеи кибернетики, так же как многих современных физических теорий, вполне доступны и без специальной математической подготовки.

2. Основные понятия и законы кибернетики

Кибернетические системы

Исследуя закономерности управления, общие для механизма и нервной системы, кибернетика должна оперировать понятиями, применимыми к тому и другому. Странно было бы говорить об электронных лампах, перфокартах и магнитных лентах применительно к мозгу, а о коре, подкорке, сером и белом веществе в отношении машины. Эти понятия не являются кибернетическими; они относятся или только к машине, или только к мозгу, а для кибернетики важны лишь те понятия, которые можно применить ко всем объектам.

Как мозг, так и машина состоят из определенных элементов, которые в своей совокупности образуют единое целое, систему. Понятие системы является одним из важнейших в кибернетике. В широком смысле оно обозначает всякую совокупность элементов. Это понятие применимо как ко всему миру в целом, так и к отдельным его частям. Живые организмы, атом, облако, песчинки, ма-

шина, дом — все это различные системы. При всей несхожести они имеют общий признак—представляют собой совокупность элементов, т. е. являются системами.

Одни системы включают в себя другие, например организм человека — кровеносную и нервную системы, молекула — атомы.

Каждая система может пребывать во множестве различных состояний. Тело человека, например, есть система, а движения, которые оно совершает, являются его состояниями. То же самое относится и к машине. Она то находится в покое, то движется, совершая различные операции. Одни состояния системы сменяются другими. Человек сидел, потом встал, начал ходить — все это определенная система движений, характеризующаяся переходом одних состояний в другие.

Аналогичные явления наблюдаются и в искусственных системах. Если нагревать стальной брусок, то будет происходить последовательная смена его температурных состояний. При обточке деталей резцом токарного станка можно наблюдать систему изменений состояний детали.

Однако для каждой системы существуют определенные границы ее возможных изменений. Если изменения переходят эти границы, то данная система превращается в другую. Если изменения не выходят за указанные пределы, то система не преобразуется в другую, а лишь меняет свое состояние. Нормальная жизнедеятельность организма человека, например, возможна лишь в определенных температурных пределах. Любое твердое вещество сохраняет свое состояние также в известных температурных границах, при выходе за которые оно переходит в жидкое состояние (лед — в воду, железо — в расплавленное железо и т. п.).

Сам процесс перехода одной системы в другую — это тоже определенная система. Так, одного и того же человека в разных возрастах — в детстве и во взрослом состоянии — можно рассматривать как различные системы, а развитие ребенка во взрослого — как процесс перехода из одной системы в другую. Атом и расщепленный атом — разные системы. Процесс, в результате которого атом становится расщепленным, есть переход одной системы в другую.

Каждая система может перейти в целый ряд других систем. Семя прорастает или погибает, превращается в

здоровое растение или в чахлое. Если рассматривать движение автомобиля, скажем, из Рязани в Москву как исходную систему, то она после достижения указанной точки может принять столько направлений, сколько есть дорог из Москвы.

Изменения в системе вызываются множеством различных причин, которые имеют тенденцию выводить систему из тех границ, в пределах которых она может существовать, т. е. разрушать ее. Ветер, например, и температурные изменения разрушают облако, трение и нагрузки — мотор. Во время интенсивной деятельности организма в нем накапливаются вредные для него вещества — углекислый газ, молочная кислота,— повышается температура.

Но система может сохраниться, если она оказывается способной создавать приспособительные реакции по отношению к разрушительным влияниям. Мы решили, например, отправиться в кино. На пути к осуществлению этой цели перед нами встает ряд внешних препятствий, которые грозят нарушить систему движений, необходимую для того, чтобы цель была достигнута. Мы можем встретить приятеля, который зовет нас к себе, нам преграждает путь транспорт, который надо переждать, наше внимание привлекают витрины магазинов. Чтобы не нарушить последовательность движений и достигнуть поставленной цели, необходимо удерживать эту цель на протяжении всего пути ее осуществления. Это есть не что иное, как процесс управления. Последнее очень важно. Человек с пораженными долями мозга оказывается неспособным осуществить самое простое действие; он не в состоянии развить приспособительных реакций по отношению к внешним влияниям. Идя из кабинета врача в палату, такой больной может залезть в открытый шкаф, мимо которого проходит.

Таким образом, сохраниться могут только те системы, которые обладают устойчивостью по отношению к разрушающим их силам, т. е. могут им противостоять.

У человека, как и у развитых животных, органом управления является центральная нервная система, головной мозг. Мозг человека управляет не только процессами, происходящими в его организме, но и силами природы, и развитием общества. Природа создала органы управления только в живых организмах. Но с развитием

техники были созданы механизмы, выполняющие функцию управления вместо человека.

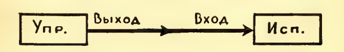
Искусственные управляющие устройства, так же как мозг человека, относятся к одному и тому же классу *самоуправляющихся систем*. Все такого рода самоуправляющиеся системы называются *кибернетическими*.

Кибернетическая система, как некоторое единое целое, относительно изолирована от окружающего. Например, совокупность элементов, образующих человека, существует до известной степени самостоятельно, о ней можно говорить как о таковой, независимо от других систем. Но вместе с тем каждая система связана с внешним миром, который так или иначе влияет на нее и в свою очередь подвергается воздействиям с ее стороны. Та часть системы, которая воспринимает воздействия извне, называется *входом*, а часть, которой данная система действует на другие системы, называется *выходом*. Это можно изобразить графически:



В одной системе может быть один, два или несколько входов и соответствующее количество выходов. Регулятор Уатта, например, имеет один вход и один выход. На входе происходит изменение давления, на выходе—открытие или закрытие клапана. Человек имеет множество входов и выходов в виде нервных клеток, воспринимающих внешние воздействия и реагирующих на них.

Всякая кибернетическая система, как указывалось выше, является самоуправляющейся. Мы не будем сейчас останавливаться подробно на ее структуре. Отметим только, что она всегда имеет управляющую и управляемую части и что выходы управляющей части соединены определенным образом с входами управляемой. Последняя называется также рабочим, или исполнительным, органом. Графически это можно представить в виде схемы:



«Все или ничего» Самый простой и наиболее распространенный тип представляют собой те кибернетические системы, у которых вход и выход имеют только два состояния. Такой системой является, например, термостат; вход и выход могут находиться здесь в одном из двух состояний: температура ниже—выше нормы, обогревательный прибор включен—выключен. К тому же типу относятся электронные счетные машины, входы и выходы которых—электронные лампы—всегда находятся, как мы помним, в одном из двух возможных состояний — проводящем или непроводящем. А мозг? Можно ли его отнести к этому типу кибернетических систем?

Мы знаем, что под влиянием внешних раздражителей те или иные участки мозга возбуждаются и отдают соответствующие «приказания» определенным исполнительным органам. При отсутствии воздействий извне нет и возбуждения. Мозг в целом состоит из множества различных нервных клеток — *нейронов*, которые в каждый данный момент находятся либо в возбужденном, либо в невозбужденном состоянии. Чтобы нейрон возбудился, сила раздражителя должна достигнуть определенной, так называемой *пороговой* величины. На такое раздражение нейрон сразу отвечает максимальным возбуждением, так что дальнейшее увеличение силы раздражения уже не приводит к увеличению силы возбуждения. Это явление известно в физиологии под названием закона «все или ничего». Возбуждение нейрона сменяется стадией невозбудимости, пока новое раздражение не приведет его снова в состояние возбуждения.

Таким образом, при всем материальном отличии нейронов от электронных ламп по крайней мере в одном отношении они одинаковы между собой: те и другие могут находиться в одном из двух возможных состояний — проводящем или непроводящем, «возбужденном» или «невозбужденном», «да» или «нет». Кибернетика забывает обо всем, кроме этих отношений между элементами соответствующих систем. Одни элементы являются входом, другие — выходом. Каждый вход может находиться либо в «возбужденном», либо в «невозбужденном» состоянии, определяя соответствующим образом состояния выхода. Комбинациями возбуждений входа и выхода и определяется работа автоматов, подобно тому как возбуждение

воспринимающих и исполнительных нервных клеток определяет деятельность мозга.

Информация Основной задачей всех таких систем является управление своими реакциями в зависимости от внешних воздействий, регулирование того, что происходит на выходе, в зависимости от того, что получено на входе.

Чтобы справиться с этой задачей, управляющее устройство должно получить сведения, или *информацию*, о тех условиях, в которых находится система, а также об изменениях, происходящих в ней, затем на основе полученных данных выработать новую информацию для исполнительных органов. Информация — это сообщение о событиях, происходящих как во внешней по отношению к системе среде, так и в самой системе. Обмен информацией широко распространен как в природе, так и в человеческом обществе. Информацией являются все те данные о внешнем мире, которые мы получаем как путем непосредственного воздействия на наши органы чувств окружающих предметов и явлений, так и опосредованным путем — через книги, газеты, рассказы других людей. Информацией являются также сообщения о всех тех изменениях в системе, которые воспринимаются управляющим устройством — автоматическим регулятором. Обмен информацией происходит между человеком и аппаратурой, с которой он работает. Человек получает через измерительные приборы информацию о температуре, давлении, скорости и т. п. Введя в математическую машину информацию, выражающую условие задачи, люди получают от машины информацию, в которой заключен результат решения. Информацией могут обмениваться и машины. Регулятор Уатта получает информацию об изменении давления пара в котле и посылает соответствующую информацию в механизм, открывающий клапан.

Как же осуществляется передача информации?

Никакое сообщение не может быть передано без посредства какого-то материального носителя этого сообщения, служащего *сигналом информации*. Радиостанция передает информацию в приемники посредством радиоволн, слушатель получает информацию от радиоприемника через звуковые волны, и, наконец, передача информации от органа слуха человека до мозга осуществляется с помощью нервных клеток. Сигналами мыслей являются

определенные совокупности звуков или букв; остановку движения сигнализирует красный светофор и т. д.

Существенной особенностью сигнала является независимость передаваемого им сообщения от той энергии, которая затрачивается на его производство. Одна и та же информация может быть передана сигналом большей или меньшей силы. Конечно, на производство самого сигнала необходимо затратить определенный минимум энергии. Но величина информации не зависит от того, каков этот минимум; она нисколько не изменится, если при передаче сигнала будет затрачено количество энергии, превышающее этот минимум. Например, костер может служить сигналом для начала тех или иных действий, независимо от того, насколько он велик или мал, лишь бы его можно было увидеть с соответствующего наблюдательного пункта. Приказание, отданное громовым голосом, несет в себе такую же информацию, как произнесенное тихо, лишь бы оно было услышано. Конечно, само выполнение приказа может зависеть в какой-то мере от силы и вообще тона голоса начальника. Но это уже касается не информации, а психологии людей, к которым обращен приказ. Информацию в том и другом случае они получают совершенно одинаковую. Колоссальной важности сообщение может быть передано с помощью ничтожно малого и слабого сигнала. Только содержанием сигнала, а не его энергией определяется величина информации, которую он несет.

Но что значит *величина* информации? Как ее измерить?

Кибернетика, как мы знаем, относится к числу точных наук, широко использующих математические методы. Можно ли применить эти методы к анализу понятия информации? Решение этой задачи встретило большие трудности. Математика не может вскрыть сущность всех сторон информации. Тем не менее многое в этом направлении было сделано. Благодаря трудам ряда ученых, главным образом американского математика и инженера Клода Шеннона, удалось создать *количественную теорию информации*.

Получить информацию — это значит узнать то, что не знали раньше, или узнать больше о том, о чем раньше знали меньше. Но что значит не знать или знать мало? Когда перед нами ряд возможностей и каждая из них имеет одинаковую вероятность осуществления, тогда мы

говорим, что не знаем или мало знаем о том, каков будет окончательный результат. Например, мы мало знаем о том, какой стороной упадет брошенная нами игральная кость, каждая из шести граней которой имеет одинаковые шансы оказаться сверху. Но если, например, одна ее сторона тяжелее других, тогда шансы на выпадение каждой из них уже далеко не одинаковы, и мы будем знать гораздо больше о том, каким окажется результат.

Соображения, подобные изложенным здесь, и легли в основу количественного определения информации. Здесь используется понятие *вероятности*. Это понятие очень сложное. До сих пор идут споры о том, в чем состоит его сущность. Поэтому мы не претендуем здесь на исчерпывающее определение вероятности, а дадим лишь некоторое упрощенное представление о ней, достаточное для разъяснения основных понятий теории информации.

Вероятность есть прежде всего число. Вероятность достоверного события, т. е. события, которое обязательно должно произойти, равна 1, невозможного события, которое никогда не наступит, равна 0.

Если брошена монета, обе половинки которой весят одинаково, то обязательно сверху окажется либо герб, либо решетка. Вероятность того, что выпадет либо то, либо другое, равна 1; при этом вероятность выпадения герба (P герб[1]) и решетки (P реш.) одна и та же: $Pг=Pр$. Отсюда можно определить численное значение вероятности того, что сверху будет, скажем, решетка. Если $Pг+Pр=1$ и $Pг=Pр$, то $Pг=\frac{1}{2}$ и $Pр=\frac{1}{2}$. При бросании игральной кости вероятность выпадения стороны с одним очком ($P1$) такая же, как для всех других: $P1=P2=P3=P4=P5=P6$; при этом $P1+P2+P3+P4+P5+P6=1$. Следовательно, $P1=\frac{1}{6}$, $P2=\frac{1}{6}$... и т. д. Для каждой из шести сторон вероятность равна $\frac{1}{6}$.

Заметим, что значение вероятности совершенно объективно и не зависит от уровня наших знаний. Вероятность выпадения, скажем, двойки в игральной кости равна $\frac{1}{6}$, а решетки при бросании монеты — $\frac{1}{2}$, но это не значит,

[1] Вероятность обозначается буквой P — начальной буквой латинского слова «probabilis» (вероятный).

что о монете мы знаем в 3 раза больше, чем об игральной кости. Различие вероятностей определяется не различием знаний, а разными объективными свойствами тех предметов и явлений, о которых идет речь. Бо́льшая вероятность выпадения решетки по сравнению с каждой из сторон игральной кости определяется тем, что у куба шесть сторон, а у монеты только две, если, конечно, не считать ребра.

В рассмотренных случаях речь идет о равновероятных возможностях. Но далеко не все события имеют одинаковую вероятность. Если та сторона игральной кости, на которой стоит двойка, окажется тяжелее противоположной, тогда вероятность выпадения двойки уже не будет равняться $\frac{1}{6}$. Она значительно возрастет, тогда как вероятность для других сторон уменьшится. Изменение вероятности в этом случае определяется не нашими знаниями, а устройством кости. Сами наши знания зависят от объективных особенностей тех явлений, вероятность которых мы вычисляем. Это значит, что такая субъективная вещь, как знание будущих событий, определяется объективными отношениями между вещами. А эти отношения допускают точный количественный анализ.

Чем более различны вероятности данных событий, тем более точно можно предсказать наступление одного из них. Когда вероятность наступления одного события равна 1, а всех остальных—0, предсказание будет вполне определенным, т. е. максимальное различие вероятностей обеспечивает максимальную точность предсказания. Наоборот, при одинаковых вероятностях ни на одно из возможных событий нельзя рассчитывать больше или меньше, чем на все другие. Предсказание в этом случае вполне неопределенно, точность его является минимальной.

Что же является количественной мерой неопределенности предсказания?

Как мы видели, неопределенность растет вместе с увеличением числа возможных исходов. Другая важная черта неопределенности результата опыта заключается в следующем. Если опыт состоит из нескольких частей, то неопределенность целого определяется суммой тех неопределенностей, которыми обладает каждая часть.

Эти особенности неопределенности результата опыта должны быть отражены и в ее количественной мере. Зна-

чит, величина, выражающая неопределенность, должна удовлетворять двум условиям:

1) она должна расти вместе с увеличением числа возможных исходов;

2) величина, характеризующая неопределенность нескольких опытов, должна быть равна сумме величин, характеризующих неопределенности каждого из них.

Нельзя ли в качестве такой меры взять само число возможных исходов, которое мы будем обозначать буквой k. Ясно, что оно удовлетворяет первому условию. Но удовлетворяет ли второму?

Повторим опыт с игральной костью. Количество возможных исходов при ее бросании, как мы знаем, равно 6. А чему будет равно это число при бросании не одной, а двух костей? Сколько комбинаций возможно в этом случае? Одновременно с каждой из шести сторон первой кости может выпасть любая из шести сторон второй кости. Например, первая кость может дать единицу, во второй может вместе с ней выпасть или единица, или двойка, тройка, четверка и т. д.Таким образом, число возможных комбинаций при бросании двух игральных костей, или, что то же самое, при двух последовательных бросаниях одной кости, равно 36.

Если бы k явилась точной мерой неопределенности, то при двух бросаниях она должна бы быть равна: $6+6=12$. Но количество комбинаций при двух бросаниях равно не 12, а 36. Следовательно, число возможных исходов не может считаться количественным выражением неопределенности опыта.

Таким образом, мы видим, что величина k удовлетворяет первому из приведенных выше условий, но не удовлетворяет второму. Обоим условиям удовлетворяет не k, а *логарифм* k, т. е. показатель степени, в которую нужно возвести некоторое число, называемое основанием логарифма, чтобы получить k. Выбор основания логарифма не играет существенной роли. Обычно в кибернетике за основание логарифма берут число 2, но мы для удобства вычисления возьмем 10, т. е. воспользуемся наиболее распространенными у нас десятичными логарифмами.

В опыте с монетой неопределенность результата равна $\lg 2$, т. е. 0,3010, в случае бросания игральной кости — $\lg 6$, т. е. 0,7782.

Первое условие выполняется, поскольку логарифм k тем больше, чем больше k, следовательно, неопределенность тем больше, чем больше $\lg k$. Второе условие также соблюдается, так как известно, что логарифм произведения равен сумме логарифмов сомножителей: $\lg(k_1 \cdot k_2) = \lg k_1 + \lg k_2$. Например, $\lg 36 = \lg 6 + \lg 6 + 0,7782 + 0,7782 = 1,5564$. Поэтому, хотя число возможностей различных результатов суммы опытов (k) равно их произведению ($k_1 \cdot k_2$), логарифм этого числа k равен сумме логарифмов $k_1 + k_2$.

Было показано, что ни одна величина, кроме $\lg k$, не соответствует рассмотренным условиям. Это дает основание считать количественной мерой неопределенности результата опыта $\lg k$.

Итак, вероятность (P) события с k возможных исходов равна $\frac{1}{k}$, неопределенность этого события $= \lg k$; вероятность выпадения герба или решетки равна $\frac{1}{2}$, неопределенность $= \lg 2$; вероятность выпадения одной из сторон игральной кости равна $\frac{1}{6}$, неопределенность $= \lg 6$.

Если на k возможных результатов приходится неопределенность, равная $\lg k$, то неопределенность каждого результата равна $\frac{\lg k}{k}$.

Произведем с этой формулой некоторые преобразования: $\frac{\lg k}{k} = \frac{1}{k} \cdot \lg k$, но $k = \frac{k}{1}$, следовательно, $\lg k = \lg\left(\frac{k}{1}\right)$ и $\frac{1}{k} \cdot \lg k = \frac{1}{k} \cdot \lg\left(\frac{k}{1}\right)$. Логарифм дроби равен, как известно, $\lg$ числителя минус $\lg$ знаменателя, т. е. $\frac{1}{k} \cdot \lg\left(\frac{k}{1}\right) = \frac{1}{k} \cdot (\lg k - \lg 1)$. Вынесем за скобку -1, получим $\frac{1}{k} \cdot -(\lg 1 - \lg k)$; $\lg 1 - \lg k$ равен логарифму дроби $\frac{1}{k}$; $\frac{1}{k} \cdot \left(-\lg\frac{1}{k}\right) = -\frac{1}{k} \cdot \lg\frac{1}{k}$, но $\frac{1}{k}$ — это не что иное, как вероятность (P) каждого данного результата при k возможных исходов. Если каждый из них обозначить буквой a, тогда $-\frac{1}{k} \cdot \lg\frac{1}{k} = -Pa \cdot \lg Pa$.

Таким образом, неопределенность, приходящаяся на один из возможных исходов $\left(\frac{\lg к}{к}\right)$, равна минус произведению вероятности каждого из них на ее логарифм.

В рассмотренных случаях все возможные результаты опытов одинаково вероятны. Но если один исход (a_1) имеет одну вероятность (Pa_1), второй (a_2) — другую (Pa_2), третий (a_3) — третью (Pa_3) и т. д., то соответственно мерой неопределенности для исхода a_1 будет $- Pa_1 \cdot \lg Pa_1$, для $a_2 - Pa_2 \cdot \lg Pa_2$ и т. д., вплоть до $- Pa_к \cdot \lg Pa_к$, а неопределенность опыта в целом будет равна их сумме: $-Pa_1 \lg Pa_1 - Pa_2 \lg Pa_2 - \ldots - Pa_к \cdot \lg Pa_к$.

Эту величину, являющуюся мерой неопределенности результатов опыта, называют *энтропией* и обозначают латинской буквой H.

Обозначив сумму знаком Σ, последовательную смену показателей (1, 2, 3... k слагаемых) буквой $i (i=1, i=k)$, получим следующую формулу величины энтропии:

$$H = -\sum_{i=1}^{i=k} Pa_i \lg Pa_i.$$

Минус в формуле не означает, что энтропия — величина отрицательная. Наоборот, она всегда положительна. Дело в том, что вероятность (P), по определению, меньше единицы и больше нуля. Но логарифм числа меньшего 1 отрицателен, т. е. $\lg P$ величина всегда отрицательная, в результате чего произведение оказывается положительным.

Термин «энтропия» заимствован из физики. Здесь опять сыграл свою роль характерный для кибернетики метод аналогий. Энтропия в физике обозначает, упрощенно говоря, меру беспорядка, степень хаоса, царящего в физической системе. Если два газа, заключенные в сосуде, располагаются один с одной стороны, другой — с другой, то относительно этой системы можно сказать, что энтропия в ней минимальна. Но такое положение не может сохраняться долго. Если газы не отделяются друг от друга перегородкой, они неизбежно перемешиваются. По мере того, как молекулы того и другого газа беспорядочно разлетаются по всему сосуду, энтропия растет. Когда газы перемешаются полностью и наступит равновесие, энтропия достигнет максимальной величины. Состояние равновесия, обладающее наибольшей энтропией, является

наиболее вероятным, и, наоборот, состояние с наименьшей энтропией наименее вероятно. Это значит, что физическую энтропию также можно выразить через вероятность, причем по формуле, очень похожей на приведенную выше. Аналогичностью формул и объясняется перенос термина.

Но этим отнюдь не исчерпывается аналогия между энтропией в физике и в кибернетике. Процессы, предоставленные самим себе, в физических системах развиваются, как мы только что отметили, в направлении увеличения беспорядка, т. е. возрастания энтропии (например, газы естественно стремятся перемешаться, а не изолироваться друг от друга). В этом заключается сущность одного очень важного принципа в физике, так называемого второго начала термодинамики. Аналогичный принцип имеет место и применительно к энтропии в кибернетике, как будет показано дальше.

Итак, мы выражаем энтропию того или иного события через его вероятность. При равновероятных исходах, когда труднее всего сделать точное предсказание, энтропия максимальна. При разных вероятностях, допускающих более определенные предсказания, она значительно меньше. Например, при бросании симметричной кости степень неопределенности, энтропия H равна $\lg 6 = 0{,}7782$. Если разные части кости весят неодинаково, в результате чего, например, вероятность выпадения единицы равна $\frac{1}{2}$, вероятность двойки, тройки, четверки и пятерки — по $\frac{1}{9}$, а шестерки — $\frac{1}{18}$, тогда $H = -\frac{1}{2}\lg(\frac{1}{2}) - 4 \cdot \frac{1}{9}\lg(\frac{1}{9}) - \frac{1}{18}\lg(\frac{1}{18}) = 0{,}6442$.

Если вероятность одного исхода равна 1, а остальных — 0, тогда $H = -1\lg(1) - 0\lg 0 - 0\lg 0$ и т. д. Логарифм единицы равен 0, следовательно, $1 \cdot \lg(1) = 1 \cdot 0 = 0$; остальные члены также равны 0, так как $0 \cdot \lg 0 = 0$. Таким образом, энтропия в этом случае равна 0, т. е. неопределенность отсутствует, предсказание будет абсолютно точным.

Решение вопроса о количественном выражении неопределенности результатов опыта дает основу и для определения понятия *количества информации*. Мы видели, что, получая информацию, человек приобретает некото-

рые новые знания. Количество знаний тем меньше, чем больше неопределенность результата, т. е. энтропия.

Обозначим энтропию, которую мы имели до получения информации, H_1. После получения информации энтропия уменьшилась до величины H_2. Количество полученной информации будет равно в этом случае разности первой и второй энтропии: $И=H_1 - H_2$.

Если в результате получения информации полностью устранена всякая неопределенность, т. е. $H_2=0$, тогда $И=H$. Количество информации в этом случае численно равно той энтропии, *которая имела место до получения информации*. Чем большая неопределенность устранена, тем больше полученная информация. Это количественное равенство информации и первоначальной энтропии, конечно, не означает тождественности этих понятий. Они не только не тождественны, но противоположны друг другу: ведь информация равна не просто энтропии, а *устраненной* энтропии.

Рассмотрим несколько примеров.

1). Какое количество информации мы получим от светофора, передающего сигналы красного, зеленого и желтого цвета, если красный и зеленый горят по одной минуте, а желтый между ними — $\frac{1}{2}$ минуты?

Для ответа на этот вопрос необходимо вычислить разницу между начальной энтропией (H_1) и той, которая получилась после зажигания светофора (H_2). Эта разность и будет показателем количества информации ($И$). Но, когда загорается один из фонарей, всякая неопределенность исчезает: красный цвет ясно говорит о том, что нужно стоять, зеленый — путь свободен, желтый — следует приготовиться, т. е. $H_2=0$, а $И=H$. Начальную энтропию мы вычисляем по нашей формуле. Поскольку вероятность (P) того, что какой-либо фонарь горит, равна 1, а красный и зеленый фонари горят в 2 раза дольше, чем желтый, то $P_{кр}=0{,}4$; $P_{зел}=0{,}4$; $P_{жел}=0{,}2$; $И=H_1= =-P_{кр}\lg P_{кр}-P_{зел}\lg P_{зел}-P_{жел}\lg P_{жел}=-0{,}4\lg 0{,}4- -0{,}4\lg 0{,}4-0{,}2\lg 0{,}2=0{,}4582$.

Но если по каким-либо причинам загорится не один фонарь, а одновременно два, например красный и желтый, то в этом случае неопределенность не исчезнет. H_2 не будет равно 0. Поскольку зеленый не горит, $P_з=0$

Что же касается вероятностей красного и желтого, то $P_к$ будет равно $\frac{2}{3}=0,67$, $P_ж=\frac{1}{3}=0,3333$, так как красный, по условию, горит вдвое дольше, чем желтый. Следовательно,

$H_2=-0,67 \lg 0,67-0,33 \lg 0,33=0,1764$;

$И=H_1=H_2=0,4582-0,1764=0,2818$.

2). Герой греческой мифологии Тезей, отправляясь в опасное путешествие, обещал своему отцу в случае благополучного исхода заменить при возвращении черные паруса на своем корабле белыми. Какое количество информации передают паруса в этом случае?

Будем исходить из того, что вероятности черного и белого паруса одинаковы: Pч$=P$б$=0,5$, т. е. мы можем воспользоваться формулой $H=\lg к=\lg 2=0,301$. Когда тот или другой парус уже вывешен, вероятность второго равна 0 и $H_2=0$, следовательно, $И=H_1=0,301$.

Но если бы на корабле оказались одновременно поднятыми оба паруса, тогда в конце получилась бы такая же неопределенность, какая была вначале: $H_2=H_1$ и $И=H_1-H_2=0$.

Одновременное зажигание красного и желтого фонарей светофора создавало значительно меньшую неопределенность, чем та, которая была бы в том случае, если бы ни один фонарь не горел. В этом случае было бы больше вероятности того, что нужно остановиться, чем продолжать путь, т. е. передаваемые сигналы несли бы определенное количество информации. В случае с парусами получается полная неопределенность до и после получения сигнала, и поэтому передаваемая информация оказывается равной 0.

3). Какое количество информации несет в себе телеграмма «Приезжай Алупку»?

В предыдущих примерах мы имели дело с комбинациями нескольких знаков, появление каждого из которых имело определенную степень вероятности и передавало соответствующую информацию. Но как вычислить количество информации, которую заключает в себе сообщение о приезде в какой-то определенный пункт?

Кибернетика, как уже отмечалось выше, имеет дело только с формальными соотношениями, а не непосредственно со смыслом. В содержание телеграммы вникают человек, который ее подает, телеграфистка, а затем ад-

ресат. На всех промежуточных этапах ею оперируют только как определенной комбинацией знаков — букв, точек и тире и т. д., реальное содержание которых никого не интересует. То, что делает при этом человек, с таким же успехом может выполнить машина. Именно этот «машинообразный» этап, свободный от вмешательства мозга подателя и адресата, и важен для теории информации. Если говорить о количестве информации, которую несет данная телеграмма, то речь может идти лишь о той информации, которая заключена в данной комбинации 15 знаков из 33 возможных в русском языке, независимо от смысла, который выражает эта комбинация. Ведь и в случае со светофором и с Тезеем само содержание знаков для теории информации значения не имеет. Ее не интересует, остановится движение или нет, правильно или неправильно поймет отец Тезея значение парусов. На количество информации это нисколько не повлияет; кибернетика вычисляет данное, объективное, формальное соотношение определенных знаков, и только. В греческом мифе Тезей забыл сменить черные паруса на белые, и его отец Эгей бросился со скалы в море от горя. Для Эгея информация, которую несут черные и белые паруса, заключает разницу колоссальных размеров, для кибернетической теории информации она несущественна.

Итак, информацию, которую несет данная телеграмма, можно вычислить по формуле:

$И = -P\text{п}\lg P\text{п} - P\text{р}\lg P\text{р} - P\text{и}\lg P\text{и} - P\text{е}\lg P\text{е}\ldots$ и т. д. с буквами «з», «ж», «а», «й» и т. д. Русский алфавит содержит 34 знака (включая пропуск между буквами). Если бы все буквы встречались в русском языке с одинаковой частотой, тогда вероятность появления каждой из них была бы равна $\frac{1}{34}$ и наша телеграмма передавала бы следующее количество информации:

$$И = -\frac{1}{34}\lg\frac{1}{34}\cdot 15 = 0,6756$$

Но в этом случае информация вычисляется лишь приблизительно, так как на самом деле вероятность появления для всех букв разная. Чтобы получить точный результат, нужно иметь статистические данные употребительности разных букв в русском языке и в соответствии с этим определить вероятность появления каждой из

них, а затем вычислить ту информацию, которую несет данная комбинация.

Определив количественную меру информации, кибернетика установила множество закономерностей, связанных с ее передачей и хранением. Она выяснила, от чего зависит количество информации, которую можно передать по данной линии связи, как осуществить эту передачу наиболее экономно.

В связи с этим остановимся на одной особенности передачи информации в кибернетике. Телеграмма «Приезжай Алупку», переданная с соблюдением всех требований на всех этапах, несет в конечном счете вполне определенную информацию. Но в процессе своего движения по телеграфной линии, или, как говорят в кибернетике, по каналу связи, она может подвергнуться разного рода случайным воздействиям, в результате чего определенность нарушится. Например, если буквы «п» и «к» написаны неразборчиво, придется на их месте оставить пропуски, что не может не отразиться на количестве информации. Если обратиться к смыслу, к самому содержанию телеграммы, то и это не всегда поможет устранить неопределенность. Например, если мы получим телеграмму «Приезжай в Алушку», то поймем, что имеет место ошибка, но с одинаковой вероятностью можем предположить, что вместо «Алушку» должно было бы быть «Алупку» и «Алушту». Ошибка неизбежно поведет к уменьшению информации и увеличению энтропии, хаоса, неопределенности. Подобного рода ошибки могут иметь место во всех случаях передачи информации. Ошибки, связанные с ними, всегда будут уменьшать количество информации и увеличивать энтропию.

Это явление потери информации и роста энтропии под влиянием тех или иных случайных воздействий аналогично отмеченному выше второму началу термодинамики в физике.

Обратная связь

Передача, хранение и переработка информации имеют определяющее значение для всего процесса управления как в машине, так и в человеке. Но управление не сводится просто к передаче информации от управляющей части системы к исполнительному органу. Этот процесс гораздо сложнее.

Дело в том, что на исполнительный орган влияет не только управляющая система. Он подвержен непрерывным

воздействиям окружающей среды, которые часто препятствуют исполнению приказов, полученных от управляющего центра. Например, корабль может отклониться от прямого пути под влиянием неожиданно поднявшегося ветра. Что предпринять в этом случае? Очевидно, нужно повернуть корабль так, чтобы он мог сопротивляться действию ветра. Противодействие случайным внешним влияниям — общий закон всякого регулирования.

Противодействовать можно по-разному. Простейший способ сохранения прежнего курса корабля заключается в том, чтобы определить направление и силу ветра и соответствующим образом установить руль. Но в этом случае трудно сделать управление автоматическим. При таком способе необходима непрерывная информация о направлении и силе ветра и передача ее к рулю. Но это гарантировало бы только от отклонений под действием ветра, не обеспечивая прямолинейного хода корабля, так как он может подвергнуться другим влияниям кроме ветра, например течению, которое отнесет его в сторону.

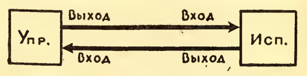
Чтобы избежать и этого воздействия, нужно вычислить скорость течения и внести соответствующие поправки в положение руля. Но и этого может оказаться недостаточно. Например, параллельно плывут два корабля; вдруг они сталкиваются и оба гибнут. Оказывается, когда корабли плывут близко друг от друга, течение между ними уменьшает давление изнутри, в результате чего под действием внешнего давления корабли сближаются. По этой же причине опасно стоять рядом с проходящим мимо поездом: давление воздуха около быстро движущегося поезда значительно ниже обычного, и наружный воздух толкает человека прямо на рельсы.

Предусмотреть все подобного рода воздействия очень трудно. Самый надежный способ противодействовать любым из них — это сделать так, чтобы *всякое отклонение фактического поведения от заданного*, независимо от того, чем оно обусловлено, *вызывало определенную ответную реакцию*, направленную на ликвидацию этого отклонения. В таком случае не нужно изучать его причины, определять силу ветра, направление течения и т. д.; сохранять заданное направление можно было бы автоматически.

Такой способ управления был найден. На кораблях стал использоваться для этой цели так называемый гирорулевой. Главная часть его — гирокомпас, по которому

задается курс корабля. В случае отклонения от нужного направления гирокомпас воздействует на исполнительное устройство, которое поворачивает соответствующим образом руль; если корабль отклонился еще более, информация об этом немедленно поступает в гирокомпас, который вызывает новый поворот руля.

В этом устройстве информация идет в двух направлениях: от управляющей системы — гирокомпаса на исполнительный орган — руль, а результат действия передается обратно от руля к компасу, т. е. выход управляющего устройства действует на вход управляемого, и наоборот.



Такая связь между управляющим центром и исполнительным органом носит название *обратной связи*.

Примеры обратной связи мы уже видели выше. Вспомним потрясок. Независимо от того, по какой причине жернов вертится быстрее или медленнее, ускорение вращения вызывает увеличение подачи зерна, что оказывает *обратное* действие на скорость движения, замедляя его; это в свою очередь уменьшает количество зерна, вследствие чего вращение ускоряется. То же самое явление мы имеем и в регуляторе Уатта: давление пара воздействует на крышку клапана, а величина подъема крышки влияет на давление.

Обратная связь рассмотренного типа, вызывающая в результате своего действия ослабление внешнего влияния, носит название *отрицательной обратной связи*.

Принцип регулирования на основе отрицательной обратной связи является универсальным. Он имеет место в любой управляемой системе, будь то кибернетическая машина или живой организм.

Положение о том, что регулирование в живом организме, в центральной нервной системе происходит на основе отрицательной обратной связи, иногда называют основной гипотезой кибернетики.

Существует очень много фактов, подтверждающих эту гипотезу. Если на лапку обезглавленной лягушки положить бумажку, смоченную кислотой, то она обязательно

сбрасывает ее другой лапкой. Но если эту другую лапку придержать, то лягушка сбросит бумажку третьей лапкой. В этом опыте безусловная реакция изменилась на основе обратной сигнализации в центральную нервную систему о том, что первая реакция не достигла нужного результата.

Большое значение имеет обратная связь в поддержании постоянства условий, в которых существует организм. У человека должны быть постоянными температура, давление крови, содержание сахара в крови и т. д. Центральная нервная система поддерживает это постоянство таким образом: всякое отклонение от нормы, например перегревание в слишком жарком помещении, повышение давления крови, сигнализирует о себе в центральную нервную систему, которая перерабатывает эту информацию в двигательные импульсы, идущие в рабочие органы: в сердце, сосуды, печень и т. д. Но приводит ли это к желаемому результату, например к восстановлению нормального давления крови? Вот здесь и включается обратная связь: в центральную нервную систему идут сигналы, информирующие о реальном изменении, происшедшем в организме.

Роль обратных связей очевидна в так называемой произвольной деятельности человека. Чтобы идти с желаемой скоростью, лыжнику приходится затрачивать разные усилия, в зависимости от рельефа местности и качества снега. В его центральную нервную систему должна приходить обратная сигнализация, несущая информацию о скорости его движения. Если скорость оказывается меньше желаемой, то усилия увеличиваются, если она достаточна, поддерживается прежний темп и сила движений.

Общий для кибернетических машин и живых организмов принцип обратной связи не является случайным. И те и другие вынуждены действовать в переменных условиях, поэтому и вырабатываемые у них реакции должны отличаться разнообразием. Для того, чтобы эти реакции пришли в соответствие с данными условиями, необходимы соответствующие сигналы из рабочего органа в центральную систему.

Обратная связь лежит в основе восстановления и перестройки функций центральной нервной системы.

У собаки был перерезан нерв, управляющий движением лап, и его конец сшит с так называемым блуждающим

нервом, регулирующим деятельность внутренних органов. Это вмешательство нарушило двигательные функции конечностей и расстроило бы их совсем, если бы не помогла обратная связь. Вначале, сразу после операции, прикосновение к лапе вызывало у собаки кашель, даже рвоту, и, с другой стороны, вместе с дыхательными и другими движениями внутренних органов непроизвольно двигалась и лапа. Но постепенно блуждающий нерв «переучился» и стал управлять движениями лап так, чтобы они не отражались на деятельности внутренних органов. Произошло это благодаря тому, что после каждого сигнала, посланного нервом к тем или иным органам, он получал обратную информацию о том, как реально осуществилось его приказание, и уже в соответствии с этим давал новый сигнал.

Еще пример. Больной получил тяжелое ранение в голову, в результате чего нарушилась чувствительность и расстроились движения. Упражнения не помогали: обратные раздражения, которые получала центральная нервная система, оказывались слишком слабыми для того, чтобы она могла внести соответствующие «исправления» в деятельность двигательных органов. В связи с этим возникла мысль о том, как бы усилить такие обратные сигналы. Это было достигнуто с помощью резинового жгута или тугого кольца, которым перетягивали руки и пальцы больного; благодаря этому раздражение, идущее от мышц к центральной нервной системе, усиливалось, в результате чего восстанавливались обратные сигналы и движения приходили в норму.

Обратная связь действует в человеке постоянно, обеспечивая нормальную работу всех его органов. Значение ее становится особенно очевидным тогда, когда происходят те или иные нарушения деятельности нервной системы.

Наши движения подчиняются всем известным законам инерции. Но обычно это не проявляется, потому что мозжечок, получая от нервов, расположенных в мышцах, сухожилиях, суставных сумках и внутреннем ухе, сигналы об отклонении движения от заданного, посылает соответствующие приказания, которые возвращают движение к норме. При поражении мозжечка регуляция произвольных движений на основе обратной связи нарушается. Тогда проявляется инерция, прежде всего в чрезмерности движения по отношению к его цели. Намереваясь

взять предмет, больной расставляет пальцы больше, чем надо, слишком сильно сдавливает его; хрупкий предмет может быть вообще раздавлен. Ставя вещь, он стукает ею по столу. Все это результат инерции движения, на которую мозжечок не делает поправки. Такой больной не может начертить круг или кривую линию, так как инерция движения не дает возможности вовремя остановиться, рука движется дальше нужного пункта и вычерчивает ломаную линию. Для человека с пораженным мозжечком характерны угловатые движения и отрывистая речь. При задержке сигналов, идущих от органа движения в мозжечок, исправительное приказание запаздывает и движение по инерции оказывается сильнее, чем нужно. Для исправления более сильного движения нужно сделать более энергичным и противоположное движение, но сигнал о нем опять запаздывает, вследствие чего оно также оказывается сильнее, чем требовалось. В результате вместо обычного плавного получается движение отрывочное и колебательное. То же самое происходит и в органах речи: разговор человека превращается в отрывочное скандирование.

Аналогичные расстройства обратной связи наблюдаются в машинах. Например, при плохо отрегулированном автоматическом управлении рулем судна может получиться задержка обратной информации; вследствие этого отклонение от курса не исправляется своевременно и по инерции становится чрезмерным.

Но исправительное движение тоже не выправляется вовремя и оказывается сильнее, чем нужно. Судно теряет свою устойчивость и сбивается с курса. Таким образом, нарушение обратной связи ведет к дезорганизации системы, делает невозможным ее приспособление к постоянно меняющимся внешним условиям. Наоборот, нормально функционирующая обратная связь поддерживает организацию системы, препятствует возрастанию в ней энтропии, обеспечивает приспособление системы к изменяющимся внешним условиям.

3. Кибернетика и нервная система

Общие закономерности управления, установленные кибернетикой, имеют большое значение для понимания функционирования нервной системы человека. Киберне-

тика дает физиологам и психологам не применявшиеся ранее средства исследования, выдвигает новые гипотезы и предоставляет возможности для их проверки.

До возникновения кибернетики средства исследования, достигнутые в физиологии и психологии, были ограниченны. Оперативное вмешательство, нарушающее нервную ткань, искажало картину деятельности центральной нервной системы. Действительную картину деятельности мозга не может дать и субъективный метод исследования психических явлений, т. е. метод самонаблюдения. Поэтому вполне понятно, что как физиология, так и психология периодически обращались к моделям, созданным техникой, для выяснения путем аналогии законов деятельности нервной системы. Именно с этим связаны наиболее важные открытия в области психологии и физиологии. Декарт по аналогии с работой машины выдвинул в свое время идею рефлекса. И. П. Павлов прибег к аналогии с замыкательной деятельностью автоматической телефонной станции.

Создание саморегулирующихся кибернетических механизмов дает возможность исследовать деятельность мозга, опираясь на модели, в наибольшей мере приближающиеся к живому организму. Модели, конечно, не могут дать окончательного ответа на вопрос об особенностях деятельности мозга, но они позволяют выдвинуть такие гипотезы, которые способствуют продвижению физиологии и психологии по пути исследования нервной деятельности. Сконструирован, например, аппарат для слепых, моделирующий чтение печатного текста. Сущность этого устройства заключается в автоматическом переводе печатного текста в последовательность звуков. Последние, правда, не являются звуками речи, а представляют собой специальный код (каждой букве соответствует определенное звуковое колебание), который усваивается слепыми. Для физиологии важно то, что схема этого прибора, как выяснилось, напоминает связи зрительного центра коры головного мозга, хотя аппарат отнюдь не строился по принципу копирования этих связей.

Закономерности высшей нервной деятельности выводятся обычно на основании наблюдений извне. Обращаясь к электронным машинам, мы получаем возможность заглянуть внутрь системы, наблюдая непосредственно те процессы, которые в ней протекают. Много интересного

дает изучение нарушений нормальной работы машин для понимания патологии психической деятельности человека. В математической машине, например, под влиянием каких-то случайных причин начинает иногда без конца повторяться один и тот же цикл операций, так что машина никак не может перейти к следующей. Такое нарушение в работе машины является как бы моделью некоторых психических явлений, которые проявляются как в нормальном, так и в патологическом состоянии человека. Например, у сильно взволнованного или усталого человека некоторые мысли,воспоминания могут приобрести навязчивый характер, они как бы вытесняют собой на некоторый промежуток времени все другое содержание сознания. В патологических случаях такие состояния вызывают застойность психических явлений, навязчивая идея надолго овладевает сознанием человека и определяет его поступки. Мания преследования, величия, самоубийства — примеры таких патологических состояний. И. П. Павлов считал, что причиной их является возникновение в каком-то участке коры мозга застойного очага возбуждения. Аналогия с машинами дала возможность предположить другую причину возникновения такого застойного очага. Это могло быть результатом долговременной циркуляции импульса по одному и тому же пути. Циркулирующий импульс захватывает все большее число нервных клеток. Оставшаяся свободной сравнительно небольшая часть нервных клеток перестает справляться с информацией, утрачивает способность организовать соответствующие ей реакции.

Физиолог, психолог, врач, психиатр всегда стоят перед задачей определить характер внутренних процессов по наблюдаемым внешним проявлениям. А это далеко не легкая задача. Кибернетика намечает математические и логические средства для ее решения. Установлено, что связи между нейронами и физиологические процессы можно описать с помощью символической логики. Состояние нейрона представляется как некоторое предложение, а весь физиологический процесс — как соотношение этих предложений. Состояние нейрона подчиняется закону «все или ничего», что логически может быть представлено как истинность или ложность предложения, а соотношения между состояниями нейронов — как логические соотношения предложений (дизъюнкции, конъюнкции и др.).

Входной сигнал, т. е. исходное высказывание, нам всегда известен. Выходной сигнал, т. е. заключительное высказывание, нам также знаком. Остается только представить себе систему промежуточных преобразований, результатом которых является заключительное высказывание.

Используя этот метод, уже сейчас создают логическим путем схемы связей нейронов. Так, создано логическое описание процессов, лежащих в основе обучения (выработки условного рефлекса), обобщения, передачи информации в нервной системе. Такое логическое построение схем не может, конечно, заменить экспериментальной физиологии, однако оказывает ей неоценимую помощь.

Кибернетика разрабатывает математические приемы, позволяющие на основе внешних данных судить о поломке математической машины. Врач встречается с аналогичной задачей. На основе внешних признаков требуется установить характер заболевания. Основываясь на кибернетике, медицина использует разработанные ею методы для решения и этой задачи.

Кибернетика делает возможным также моделирование типов высшей нервной деятельности. По учению И. П. Павлова, высшая нервная деятельность животных и человека отличается целым рядом особенностей. Одной из отличительных особенностей является, во-первых, сила нервных процессов. Она определяется способностью нервной системы выдерживать сильные раздражители и правильно на них отвечать. Во-вторых, сюда относится равновесие нервных процессов, т. е. соотношение по величине процессов возбуждения и торможения, и, в-третьих, подвижность нервных процессов, характеризующаяся быстротой, с которой происходит смена одного нервного процесса другим. Различные сочетания этих свойств образуют неодинаковые типы высшей нервной деятельности. Тип высшей нервной деятельности определяет характер и быстроту приспособления организма к внешним условиям. Он является физиологической основой характера и способностей человека.

Точный учет особенностей типов нервной системы облегчают аналогии, получаемые с помощью соответствующих механических моделей. Мы видим, что в машине создаются и точно учитываются такие черты, которые

чрезвычайно напоминают особенности высшей нервной деятельности. Конечно, модель не отражает природы, своеобразия типов высшей нервной деятельности, но она выражает то общее, что имеется в типах высшей нервной системы и в особенностях деятельности вообще любой саморегулирующейся системы, и тем самым обеспечивает возможность более точного анализа этих типов.

Значение кибернетики для изучения высшей нервной деятельности не исчерпывается использованием машин, моделирующих функции центральной нервной системы. Принципы управления, разработанные кибернетикой, безусловно должны сыграть большую роль в развитии физиологии и психологии. Математическая точность кибернетических исследований дает возможность изучать деятельность мозга не только с качественной, но и с количественной стороны.

Одним из вопросов теории информации является определение необходимого для управления количества передаваемой информации. С этим вопросом связаны такие проблемы, как создание наиболее экономного кода, сохранение сигнала в системе, т. е. проблема помехоустойчивости, разработка методов увеличения информационной емкости системы.

Применение количественных методов теории информации к анализу деятельности нервной системы дает конкретные результаты уже сейчас. Известно, что число воспринимающих внешние воздействия рецепторов значительно больше того количества клеток, которые перерабатывают передаваемую информацию. Например, сетчатка глаза содержит 130 млн. рецепторов, которые передают информацию всего лишь 800 тыс. клеток зрительного нерва. Каким образом должны быть соединены между собой эти клетки, для того чтобы сетчатка передавала наибольшее количество информации?

Предположим, что каждая клетка сетчатки может быть соединена либо с одной, либо с двумя клетками зрительного нерва. С помощью применения формально-математического анализа было доказано, что в этом случае наилучший результат достигается тогда, когда две трети клеток сетчатки связаны с одной и одна треть — с двумя клетками зрительного нерва.

Было установлено также, что успешная работа нервной системы возможна лишь в том случае, когда она получает

определенное количество информации. Опыты советского физиолога Т. В. Гершуни показали, что с возрастанием количества информации увеличивается время задержки реакции. Открыто также — и это особенно важно,— что существует предельная скорость восприятия и переработки информации,превышение которой ведет к появлению ошибочных реакций. Таким образом, информация имеет определенную оптимальную величину, при которой она может быть переработана центральной нервной системой наиболее успешно.

4. Кибернетика и машины

Решение логических задач

Важнейшим практическим результатом кибернетики является использование знаний о функционировании нервной системы животных и человека для конструирования машин, способных выполнять некоторые их функции. Современная символическая логика установила, что наши рассуждения можно выразить в виде формул, в которые входят три логические операции: «не», «и», «или», т. е. отрицание, конъюнкция и дизъюнкция. Поскольку перед машиной ставится задача осуществления действий, аналогичных мышлению человека, его рассуждениям, она должна уметь отрицать, соединять и разделять.

Прежние конструкторы стремились создать специальные логические машины. С развитием идей кибернетики возникла мысль о том, чтобы использовать для решения логических задач не какие-то особые, специально сконструированные для этой цели устройства, а те самые машины, которые уже могут осуществлять простейший акт мышления — счет.

Выше мы говорили о машинах, умеющих складывать и умножать. Современные счетные машины, основанные на использовании электронных ламп, делают это чрезвычайно быстро. Но логические операции — конъюнкция и дизъюнкция — соответствуют, как мы знаем, алгебраическим действиям сложения и умножения. Установление этой аналогии явилось отправной точкой развития символической логики. Это же обстоятельство дало возможность использовать вычислительные машины для решения логических задач.

Осуществление такой возможности потребовало установления новых аналогий. Мы знаем, что каждая мысль может быть как истинной, так и ложной. Чтобы счетная машина решала логическую задачу, необходимо прежде всего выразить истинность и ложность на языке, «понятном» ей, т. е. на «языке» цифр. Это легко сделать, если в машине используется двоичная система исчисления — два числа: 0 и 1. Нетрудно видеть, что здесь можно установить взаимно однозначное соответствие. Если, например, истинность суждения обозначить числом 1, тогда 0 будет обозначать ложность. Точно так же можно выразить и операцию отрицания. Результатом отрицания истинности является ложность; этому будет соответствовать замена 1 на 0; отрицание ложности — истинность — выразится в переходе от 0 и 1. Что касается конъюнкции и дизъюнкции, то здесь полная аналогия с алгебраической суммой и произведением. Как величина суммы и произведения зависит от величины слагаемых и сомножителей, так истинность сложных высказываний — конъюнкции и дизъюнкции — зависит от истинности исходных суждений.

Вспомним, что сложение и умножение двоичных чисел 0 и 1 производится по формулам: $0+0=0$; $0+1=1$; $1+0=1$; $1+1=10$; $0\times0=0$; $0\times1=0$; $1\times0=0$; $1\times1=1$. Это можно представить в виде таблиц.

		+
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	10

		×
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Теперь сравним эти соотношения с таблицами истинности соответствующих логических операций — дизъюнкции и конъюнкции (суждений A и B).

A	B	$A \vee B$
л	л	л
л	и	и
и	л	и
и	и	и

A	B	$A \wedge B$
л	л	л
л	и	л
и	л	л
и	и	и

Мы видим, что истинности дизъюнкции и конъюнкции соответствует в сумме и произведении 1, ложности — 0. (В случае $1+1=10$ можно учитывать только высший разряд.)

Так же выражается операция отрицания. Если A соответствует 1, то $\overline{A}=0$, и наоборот.

A	$\overline{A}$
1	0
0	1

A	$\overline{A}$
и	л
л	и

Таким образом, машина, которая умеет складывать и умножать числа 0 и 1 и записывать их сумму и произведение, может осуществить также логическое отрицание, конъюнкцию, и дизъюнкцию, а следовательно, и другие логические операции, поскольку они сводятся к этим трем.

Сложение и умножение чисел 0 и 1 легко осуществляются, как известно, с помощью электронных ламп. Если машина используется в качестве вычислительной, комбинации проводящих и непроводящих состояний ламп выражают те или иные алгебраические действия. При решении логических задач эти комбинации соответствуют тем или иным логическим операциям.

Рассмотрим такой пример. Дано логическое высказывание: «Право пользоваться клубом (A) имеют рабочие (B) или члены их семей (C)». Его можно выразить в виде формулы $A \equiv (B \vee C)$, где $\equiv$ — знак эквивалентности, равнозначности.

Какие комбинации возможны здесь? Комбинация $A \wedge \overline{B} \wedge \overline{C}$ противоречит условию, так как пользование клубом не может соединяться ($\wedge$ — конъюнкция) с отрицанием принадлежности как к рабочим ($\overline{B}$), так и к членам их семей ($\overline{C}$). Комбинация $A \wedge B \wedge C$ возможна, так как не противоречит условию. Машина быстро пересматривает все возможные 8 комбинаций и обнаруживает, что среди них соответствуют исходным данным 4:

(I) $A=1,\ B=1,\ C=1$
(II) $A=1,\ B=1,\ C=0$
(III) $A=1,\ B=0,\ C=1$
(IV) $A=0,\ B=0,\ C=0$

Поскольку машина производит все операции очень быстро, она может решить такие логические задачи, которые потребовали бы от человека длительных и, может быть, безуспешных размышлений. Перебрать 8 комбинаций, подобных только что разобранным, сравнительно быстро

может и человек. Но вряд ли он справится без помощи машины, например, со следующей задачей:

«Известно, что коммерсанты говорят всегда истину и что инженеры говорят всегда ложь. G и F — коммерсанты. *C* объявляет, что *Д* — инженер. *A* объявляет, что *B* утверждает, что *C* уверяет, что *Д* говорит, что *E* настаивает на том, что F отрицает, что G — коммерсант. Если *A* — инженер, то сколько всего инженеров в этой группе лиц?» [1]. Человек, который захочет дать требуемый ответ, потратит на это массу времени и в конце концов, может быть, вынужден будет отказаться от своего намерения. В машине все логические действия будут сведены к определенным математическим формулам, затем выражены в знаках двоичной системы, и, поскольку здесь все операции осуществляются чрезвычайно быстро, очень скоро будет получен требуемый ответ.

Решение подобных задач само по себе большого значения не имеет. Но если машина справляется с очень сложными проблемами, не имеющими практического значения, то в случае необходимости она, конечно, может решить и задачи большой практической важности.

Машинный перевод

Одним из первых практических применений логических способностей машин явилось использование их для перевода текстов с одного языка на другой. Языковые различия представляют серьезное препятствие на пути к развитию культурных, общественно-политических и научных связей между народами. Автоматизация процесса перевода, применение машин, с помощью которых можно осуществлять перевод без знания соответствующего иностранного языка, было бы важным шагом вперед в решении этой проблемы.

Машина, как уже неоднократно подчеркивалось, не вникает в смысл производимых ею операций. Машина-переводчик, в частности, не может обращаться к содержанию переводимого ею текста; она оперирует только чисто формальными отношениями. Осуществление автоматического перевода с одного языка на другой предполагает составление такой программы, в которой соответствие между обоими языками представлено в виде системы

---

[1] *П. Косса*, Кибернетика, Изд-во иностранной литературы, 1958, стр. 91—92.

строго формальных соотношений, установленных на основе структурного анализа того и другого языка. Предпосылки для такого анализа, принципиальные возможности установления абстрактной системы формальных соответствий в языках, как было показано выше, имеются.

На примере перевода фразы с греческого языка на латинский мы видели, каким образом можно в принципе переводить с одного языка на другой, не зная ни одного из них. Но там мы имели дело только с одним предложением и со словарем, состоящим всего-навсего из каких-нибудь 10 элементов. Для перевода текстов более солидных размеров, естественно, необходим словарь соответствий, значительно более объемистый и сложный. Составление таких словарей для целых языков было бы задачей практически неосуществимой, если бы не было таких возможностей формализации языка, о которых говорилось выше.

На основе отвлечения от вещественных, лексических значений слов устанавливаются формально-грамматические соответствия между языками. Это дает возможность составить отдельный словарь грамматических показателей — рода, числа, падежа, времени, частей речи и т. д., вместо того чтобы вводить в программу машины все слова с соответствующими приставками, суффиксами и окончаниями.

С другой стороны, отделение префиксов, суффиксов и окончаний позволяет выделить в слове ту его часть, которая сохраняется при всех его видоизменениях и заключает в себе лексическое значение данного слова.

Все это значительно сокращает объем запоминающего устройства, необходимого для автоматического словаря. Например, мы имеем такой ряд слов: строить, строение, строящий, строивший, настроить, настроив, настроивший, настроенный, построить, построив, построивший, построенный, подстроить, подстроив, подстроивший, подстроенный, устроить, устроив, устроивший, устроенный, застроить, застроив, застроивший, застроенный. Здесь далеко не все возможные производные от слова «строить», но мы ограничимся хотя бы этими. Аналогичные производные можно образовать и от других подобных глаголов, например «говорить», «солить» и т. д. Если бы глаголы «строить», «говорить», «солить» и их производные ввести в словарь целиком, это составило бы более 70 слов. Между

тем, в формализованном виде они будут выражены 16 элементами: 3 основами (стро-, говор-, сол-), 6 суффиксами (-ить, -ени-, -ящ-, -ив-, -ивш-, -енн-), 2 окончаниями (-е, -ий), 5 префиксами (на-, по-, под-, у-, за-). Можно себе представить, во сколько раз упростится словарь, если речь пойдет не о трех, а о тысяче или более слов.

Отбор слов для словаря производится на основе статистического подсчета их употребительности — в языке вообще, если составляется общий словарь, и в данной отрасли науки или техники при подготовке специальных словарей.

Само собой разумеется, слова переводимого текста не могут вводиться в машину в виде сочетаний известных нам букв письменного языка. Для них нужна особая система обозначений, специальный код, «понятный» машине. Знаки этого кода должны соответствовать элементам языка, не меняя смысла последних. Поскольку для логических операций, в том числе и для перевода, используются обычные электронно-цифровые машины, осуществляющие различные действия над 1 и 0, комбинациями этих двух знаков выражаются при составлении программы для машины-переводчика также и слова языка. Каждая основа, каждый префикс, суффикс, окончание и любой другой вводимый в «память» машины элемент сопоставляется с определенным сочетанием единиц и нулей. Эти сочетания переносятся на перфоленту в виде чередований отверстий и пропусков, которые в результате ряда замыканий и размыканий преобразуются в соответствующие комбинации проводящих и непроводящих состояний электронных ламп. При помощи целого ряда реле знаки на перфоленте сравниваются со словарем, находящимся в «памяти» машины. Сравнение происходит в виде вычитания словарных комбинаций из комбинаций на перфоленте.

Если сравниваемые слова не совпадают, в результате этой операции получится какое угодно число, но не 0. В этом случае происходит переключение на следующее слово словаря, и так до тех пор, пока при вычитании не получится 0. 0 означает, что машина нашла в словаре комбинацию, одинаковую с данной. Теперь нужно узнать, что соответствует ей в другом языке. Рядом с каждым словом переводимого языка указывается номер ячейки, содержащий соответствующую комбинацию того языка, на который переводят. Когда вычитание дает в результате

0, переключение происходит уже не на следующее слово словаря, а на ту ячейку второго языка, номер которой стоит рядом с данным словом. Комбинация состояний устройства «памяти», заключенная в этой ячейке, дает при выходе определенное чередование отверстий и пропусков на ленте, которое переводится затем на обычный язык букв. Когда запоминающее устройство содержит не целиком слова, а их основы и грамматические показатели, тогда машина ищет сначала в словаре основ наибольшую комбинацию, совпадающую с первой частью данного слова, а затем в словаре суффиксов и окончаний находит остальную его часть. Допустим, па перфоленте машины, переводящей с английского языка на русский, пробито слово «letterless». В словаре основ оказываются слова «let», «Lett», «letter». Машина останавливается только на последнем, поскольку оно совпадает с наибольшей частью данного слова и дает его перевод: буква, ученость, грамотность. Затем отыскивается значение оставшейся части слова — -less, обозначающей отрицание, в результате чего на выходе получается русское слово «неученость», «неграмотность».

Таким образом, весь процесс перевода расчленяется на совокупность простейших задач, подобно тому, как это делается при выполнении логических и арифметических операций. Число этих задач очень велико, но при той скорости, с которой машина решает каждую из них, перевод осуществляется очень быстро.

Главным препятствием для широкого применения переводческих машин являются затруднения не технического, а лингвистического порядка, связанные не столько с выполнением программы, сколько с ее составлением. Эти трудности не исчерпываются изобилием основ и грамматических средств выражения в каждом языке. Дело осложняется тем, что, с одной стороны, элементы языка часто имеют не одно, а несколько разных значений, с другой стороны, один и тот же лексический смысл может выражаться разными основами, одно и то же грамматическое значение — разными формальными средствами. Слово «коса» в зависимости от контекста обозначает сельскохозяйственное орудие, заплетенные волосы или отмель на реке; месяц — луну и 12-ю часть года. Такие слова — омонимы — содержатся в большом количестве во всех языках. Одно и то же окончание — -а имеют в русском

языке и существительные I склонения, женского рода, единственного числа (вода), и существительные среднего рода, множественного числа (о́кна), и родительный падеж существительных II склонения, единственного числа (окна́, стола́), и винительный падеж существительных того же склонения, единственного числа, мужского рода (человека, зверя). Подобными явлениями, значительно усложняющими работу над словарями для автоматического перевода, изобилуют все языки.

Но главное затруднение создается тем обстоятельством, что между элементами разных языков нет однозначного соответствия. Основе или суффиксу, однозначным в одном языке, могут соответствовать в другом элементы, имеющие кроме данного еще несколько значений. Русскому слову «месяц» в английском, немецком, французском и других языках соответствуют два слова, одно из которых обозначает «луна», второе —«12-я часть года». Русские сочетания с предлогом «к» и дательный падеж без предлога одинаково передаются в английском с помощью предлога «to». В русском языке существуют категории рода и падежа, в английском их нет, а имеется артикль, отсутствующий в русском языке.

Все это требует разработки особой системы помет для словарей, которые вводятся в запоминающее устройство автоматического переводчика.

Во всех языках имеется много так называемых идиом, не допускающих буквального перевода. Например, французское выражение, соответствующее русскому «Он вылитый отец», при буквальном переводе дает: «Он отец, совершенно выплюнутый»; мы говорим: «С глазу на глаз», а французы в том же смысле скажут: «Голова к голове», немцы: «Между четырьмя глазами», англичане: «Лицо к лицу».

Осуществить автоматизацию перевода с учетом всех этих особенностей языка при помощи обычного словаря основ и окончаний, конечно, невозможно. Такой словарь может удовлетворить лишь в случае перевода специально подобранного текста, состоящего исключительно или преимущественно из однозначных слов. Чтобы машина могла переводить любой текст, необходима формализация всех элементов языка, в том числе и тех, смысл которых зависит от их окружения, от контекста. В связи с этим встает вопрос о создании таких словарей, в которые

входили бы не только отдельные слова, но и словосочетания и целые предложения, что, конечно, представляет собой задачу значительно более сложную, чем составление словарей отдельных слов или их основ и окончаний.

Стремление упростить работу, связанную с автоматизацией перевода, привело к идее об искусственном языке-посреднике, свободном от многозначности, идиоматики и тому подобных явлений, затрудняющих и даже, возможно, исключающих перевод без понимания смысла переводимого. Установить формальные соотношения между двумя языками, из которых хотя бы один строго логичен и не требует специального изучения и учета разного рода исключений, отклонений от формальных правил, конечно, значительно легче, чем между двумя обычными языками. Кроме того, наличие такого языка во много раз уменьшило бы число необходимых словарей, если встанет вопрос о переводе с любого языка на любой. Возьмем хотя бы 10 языков. В таком случае потребовалось бы 90 словарей, поскольку каждый язык должен переводиться на 9 остальных, тогда как при наличии языка-посредника было бы достаточно 20: 10 — для перевода на язык-посредник и 10 — для обратного перевода на любой из этих языков. В связи с этими соображениями создание языка-посредника представляется вполне целесообразным.

Кибернетические животные

Мы рассмотрели использование кибернетики для конструирования «думающих» машин, заменяющих человека в его логической функции. Но, вскрывая то общее, что имеется у живого организма и машины, кибернетика не ограничивается мыслительной деятельностью человека. Она изучает все те особенности поведения живых существ, которые могут быть воспроизведены в машине, и используется для моделирования не только мышления человека, но и всех других функций нервной системы как человека, так и животных.

Все описанные выше автоматические устройства действуют строго по заданной программе. Результаты их работы целиком определяются исходным состоянием. Поведение машин не меняется в зависимости от окружающих условий. Они не приобретают опыта. Переводческая машина производит свой тысячный перевод так же хорошо или плохо, как и первый, если она функционирует

нормально, в то время как переводчик, даже самый плохой, после тысячи раз переведет лучше, чем вначале: он способен *научаться*.

Эта способность свойственна не одному человеку, а всякому живому существу. Не только у млекопитающих, но, как сейчас показали ученые, и у рыб и насекомых вырабатываются условные рефлексы, которые меняют их поведение в зависимости от новой обстановки. Естественно возникает вопрос: нельзя ли такую особенность регулирования в живых организмах, как умение приспосабливаться к среде, перенести с животных на машину?

Целый ряд ученых в разных странах пытались решить эту задачу путем конструирования небольших механических устройств, поведение которых обладало бы некоторыми чертами живых существ. Первыми моделями такого типа явились две «черепахи» английского ученого Грея Уолтера, названные им Эльзи и Эльмер. Устроены они были очень просто: небольшие тележки на колесах с двумя моторчиками, двигающими их вперед и в стороны, фотоэлемент и усик, замыкающий контакт в случае соприкосновения с препятствием. При всей своей несложности «черепахи» представляли большой интерес с точки зрения их поведения. В темноте они двигались беспорядочно, как бы в поисках чего-то. Когда появлялся свет, они немедленно его «замечали» и направлялись к источнику света. Приблизившись к нему, они поворачивались в сторону и начинали блуждать вокруг, оставаясь в тех границах, в которых были наилучшие для них условия. Натknувшись на препятствие, черепаха старалась его обойти.

Более сложной и более интересной была третья «черепаха» Уолтера, названная Ко́ра. При толчке или препятствии Ко́ра пряталась. А когда одновременно с толчком стали давать свисток, Ко́ра постепенно «научилась» прятаться при одном только свистке без всякого толчка. У нее выработался «условный рефлекс».

Широко известна также «мышь» Шеннона, блуждающая внутри специально изготовленного лабиринта. Натыкаясь множество раз на препятствия и обходя их, «мышь» в конце концов находила выход из лабиринта. Но во второй и последующие разы она достигала цели уже значительно быстрее, используя «знания», приобретенные во время первого путешествия, и двигаясь по более прямому и короткому пути.

Игрушек такого рода появилось затем много в разных странах, в том числе и в Советском Союзе. Мы знаем, что попытки создания искусственных животных и человека имели место уже давно. Вспомним хотя бы утку Вокансона, механического флейтиста и т. д. Но эти автоматы принципиально отличались от новых, *кибернетических*. Если раньше стремились главным образом к внешнему подобию, то в современных автоматах воспроизводятся совсем другие, гораздо более существенные особенности живого организма, в частности такое важное свойство нервной системы человека и животных, как обратная связь. Если утка Вокансона двигалась одинаково в любом окружении, то «черепаха» и «мышь» чутко реагируют на внешние условия, меняя вместе с их изменением образ своих действий.

Гомеостат

И все же это еще далеко не поведение живых существ. Все действия таких механизмов подчинены закономерностям, определенным заранее. «Условный рефлекс» образуется в ответ не на любые внешние раздражители, а лишь на те, которые предусмотрены конструктором. Здесь нет изменений форм связи с внешней средой, нет развития. Живой организм представляет собой самоорганизующуюся систему, т. е. такую систему, которая в результате хаотических случайных воздействий внешней среды вырабатывает целесообразную реакцию на эти воздействия и приходит в конечном счете к устойчивому состоянию. Именно таким образом организм приспосабливается к окружающей среде. Организмы, не сумевшие приспособиться, гибнут. В этом, как в свое время показал Дарвин, заключается тайна той целесообразности в строении животных и растений, которая существует в природе.

Чем выше развитие организма, тем быстрее он может приспособиться к новому для него окружению. Человек в этом отношении превосходит всех остальных живых существ. Вспомним Робинзона или героев Жюля Верна. Они попадают на необитаемый остров. Со всех сторон им угрожают опасности. Но они вырабатывают у себя целесообразные реакции — строят дом, добывают огонь, разводят растения и животных,— в результате чего существенные для их жизни характеристики — температура тела, процентное содержание различных веществ и т. д.— приходят к *состоянию устойчивого равновесия*.

Понятие устойчивого равновесия, или по-гречески *гомеостазис*, имеет большое значение в кибернетике. Отсюда стремление создать такое устройство, которое могло бы изображать переход самоорганизующихся систем к состоянию гомеостазиса. Такой прибор был изготовлен известным английским кибернетиком Эшби. Он получил название *гомеостата* (искателя устойчивости).

Гомеостат внешне совершенно непохож на живой организм. Он представляет собой комбинацию из четырех ящиков — блоков, на которых находятся подвижные электромагниты.

Мы не будем вникать в его устройство. Отметим лишь главное в действии этого прибора. Каждый из магнитов может быть выведен из положения равновесия каким-нибудь случайным внешним воздействием, причем в этом случае приходят в движение и все остальные магниты. С магнитами соединены стрелки, которые могут находиться в различных положениях. Всего возможно около 400 тыс. различных положений стрелок. Гомеостат перебирает их до тех пор, пока не наступит определенное, заранее заданное состояние, при котором четыре стрелки, связанные с магнитами, оказываются в центральном положении. После этого гомеостат приходит в состояние равновесия, вплоть до следующего возмущения.

В настоящее время гомеостат не имеет какого-либо практического значения. Он служит только для иллюстрации некоторых положений кибернетики. Однако, как будет видно из дальнейшего, не исключена возможность, что в будущем приборы типа гомеостата получат большое практическое применение.

«Обучение» машины

Уже сейчас существуют такие «обучающиеся» кибернетические устройства, которые можно использовать в промышленности. В США были проведены опыты по обучению электронных машин управлению доменным процессом.

Предварительной программой машины не предусматриваются все те приемы регулирования, с помощью которых можно получить наилучший результат. В машину поступает только информация об общих принципах управления, на основе которой машина могла бы регулировать доменный процесс, но весьма неквалифицированно. Поэтому она не включается в управление сразу, а некоторое время «наблюдает» за действиями бригады доменных

рабочих и «учится» у них тому, чего еще не умеет делать сама. Машина снабжена приспособлениями, с помощью которых она может «следить» за ходом работы и самостоятельно вносить соответствующие дополнения в свою программу. Через несколько месяцев «учебы» ей можно доверить все управление доменным процессом, и она будет справляться с ним так же, как квалифицированная бригада рабочих.

Можно сделать так, чтобы машина учитывала опыт разных бригад и брала от каждой из них самое ценное. В таком случае она сможет управлять доменным процессом лучше, чем каждая бригада в отдельности.

Важно подчеркнуть, что конструирование обучающихся машин тесно связано с анализом того, как это обучение происходит в живых организмах, т. е. с теорией условных рефлексов. Все рассмотренные обучающиеся машины приобретают новые «знания» на основе выработки своего рода «условных рефлексов», возникающих на базе безусловных, как было описано выше.

Задача создания новых типов машин требует дальнейших исследований в области биологии, в частности более глубокого изучения механизма условных рефлексов и путей быстрейшего их образования в организме.

Советские ученые С. Н. Брайнес и А. В. Напалков установили, что процесс образования новых условных рефлексов значительно ускоряется в том случае, если при этом используются старые условные рефлексы. Например, если у животного уже возник условный рефлекс, связанный с приемом пищи, то у него легче выработать новый рефлекс на жажду. Условный раздражитель, вызывавший прежде желание есть, теперь возбуждает желание пить.

В результате этих опытов С. Н. Брайнес и А. В. Напалков пришли к выводу о целесообразности создания таких систем, в одной части которых используются закономерности, уже существующие в другой. Таким образом определяется новое направление в конструировании самоорганизующихся кибернетических систем.

IV. ПЕРСПЕКТИВЫ

1. Почему нужно обсуждать перспективы

Мы познакомились с удивительными возможностями новейших автоматических устройств. Но где предел этих возможностей? Современные машины по своим свойствам во многом отличаются от мозга. Они не могут полностью заменить нервную систему живых существ. Является ли это ограниченностью только современных машин или это недостаток машин вообще? Можно ли в будущем сконструировать такие автоматы, которые воспроизвели бы все функции, скажем, человеческого мозга? Существует ли принципиальная возможность создания искусственного человека в полном смысле этого слова?

Может быть, некоторые сочтут подобный вопрос бесплодным. Зачем гадать? Поживем — увидим. Мы не знаем и не можем знать сейчас, что удастся сделать в дальнейшем.

Конечно, нельзя знать в настоящее время все то, что будет открыто в будущем. Но иногда очень важно заранее определить, стоит ли пытаться. Возьмем примеры из физики. Можно ли создать энергию из ничего, сконструировать вечный двигатель? В прошлом было приложено немало усилий, чтобы это осуществить. Вечный двигатель притягивал к себе внимание изобретателей и ученых на протяжении ряда веков. Но создать его не удалось. Люди бесполезно тратили лучшие годы жизни, свои силы и способности в бесплодных попытках получить энергию из ничего. Эти усилия продолжались бы, возможно, до сих пор, если бы люди придерживались принципа «поживем — увидим». Двигателя нет, но, может быть, когда-нибудь

будет? На этот вопрос с полной уверенностью можно ответить, что его никогда не будет. Не будет потому, что в принципе его не может быть, так как существует закон сохранения энергии, абсолютно исключающий возможность создания такого двигателя. Установление принципиальной невозможности решения тех или иных проблем избавляет от бесплодных усилий добиться их разрешения, освобождает массу времени и энергии для достижения целей, не менее важных и не столь безнадежных.

Теоретический анализ принципиальных возможностей построения искусственного человека — задача в такой же мере трудная, как и важная. Правильное решение ее имеет большое практическое значение. Если люди придут к тому убеждению, что создать механический мозг можно, тогда как в действительности это окажется невозможным, то будет напрасно потрачено огромное количество времени, сил и средств. Противоположная ошибка также нанесет не меньший вред развитию науки, чем первая. Поэтому относительно необходимости глубокого и всестороннего рассмотрения и самого тщательного изучения этого вопроса никаких сомнений быть не может.

Обсуждение такой сложной и важной проблемы, как и всякое серьезное обсуждение, не проходит без борьбы разных мнений. Одни ученые отстаивают идею о безграничных возможностях автоматических устройств. Другие подчеркивают непреодолимые различия между человеком и машиной, доказывая принципиальную невозможность создания искусственных механизмов, полностью заменяющих мозг человека. Таким образом, существуют два направления, две основные точки зрения по вопросу о будущем кибернетических машин. Рассмотрим каждую из них.

2. Проекты искусственного мозга

Механический человек Мнение о том, что нет принципиальной разницы между машиной и живым организмом, существует давно. Мы видели, как широко было распространено конструирование различных автоматов в XVII—XVIII вв. и несколько раньше. В связи с этим возникала мысль о том, что стоит только соорудить более сложный автомат, увеличить во много раз число шариков, винтиков, рычагов, шарниров

и т. п.— и получится настоящий человек, с его разумом, всеми особенностями поведения живого организма. Сами реальные живые существа стали рассматриваться как очень сложные механизмы. Известный французский философ XVII в. Декарт считал машинами всех животных, но не человека. Он видел принципиальную разницу между животными и человеком в том, что последний, в отличие от первых, обладает божественной душой и даром речи.

Французские философы XVIII в. пошли еще дальше. Известный французский материалист Ламеттри в своем произведении «Человек-машина» объявил машиной не только животных, но и человека. Это было связано с тем, что французские материалисты сводили все явления окружающего мира к механическим движениям. Но реальное создание механического человека, который ничем не отличался бы от живого, считалось, разумеется, делом далекого будущего.

Однако дальнейшее развитие науки вскрыло трудности, а затем и невозможность сведения к механическим движениям не только таких сложных процессов, как жизнь, но даже и простых физических явлений, таких, как теплота и электричество. В связи с этим стала очевидной утопичность проектов механического человека. Но они продолжают рассматриваться в произведениях писателей-фантастов. Известный чешский писатель Карел Чапек написал пьесу о механических людях, которые были названы роботами. Впоследствии это слово стало употребляться как научно-технический термин для обозначения автоматов, заменяющих человека. Роботы Чапека выглядели внешне как люди, успешно выполняли разного рода работу, но у них не было чувств, они не имели человеческой души. Однако потом они обрели душу и стали уничтожать людей.

Интерес к такого рода темам вполне понятен. Создание искусственного разума — идея в высшей степени захватывающая. Мы живем в такой век, когда самые несбыточные фантазии переходят со страниц романов на страницы научных журналов и книг. Люди создали подводные корабли, изобрели радио и телевидение, осуществили запуск искусственных спутников Земли и Солнца. Возможность создания искусственного мозга из предмета чистой фантазии превратилась в предмет самого серьезного научного обсуждения.

Электронный человек Как раньше мы слышали о проектировании моста или гидростанции, так теперь говорят о проектах мозга. Правда, последние обсуждаются пока только в теоретическом плане ввиду технических трудностей их реализации. Но возможность преодоления этих затруднений в будущем, реальная осуществимость идеи создания электронного мозга подробно обосновывается авторами проектов.

Обратимся к вышедшему в 1956 г. сборнику «Автоматы», ряд статей которого связаны с вопросами проектирования мозга. Рассмотрим проект мозга, изложенный в одной из них. Сущность рассуждений ее автора Д. Г. Калбертсона [1] сводится к следующему.

Кибернетическая система состоит из элементов, называемых нейронами, независимо от их природы. В этой системе имеются элементы, воспринимающие воздействие (рецепторы), реагирующие на него (эффекторы) и, наконец, связывающие то и другое (центральные элементы).

Поведение человека определяется тем, как связаны с помощью центральных нейронов внешние воздействия — стимулы — с нашими ответными реакциями. Например, ребенок кричит — это воздействует на рецепторы — органы слуха матери; мать его кормит — это ответная реакция. Рабочий у станка получает задание — стимул и выполняет его — реакция или не выполняет — другая реакция.

Воспринимающие и реагирующие клетки — рецепторы и эффекторы — неодинаковы у разных людей. Одни люди видят и слышат лучше, другие — хуже; одни могут двигать конечностями, другие не могут (например, вследствие паралича). Но отличие людей друг от друга определяется главным образом не этим, не различиями в самих рецепторах и эффекторах, а тем, как они связаны между собой, т. е. различиями в центральных нейронах, соединяющих рецепторы и эффекторы. От них зависит разница в поведении людей. Один спешит на помощь погибающему, другой спасает себя; один груб, другой вежлив; один скромен, другой хвастун. Все это зависит от различных связей стимулов и реакций, рецепторов и эффекторов.

---

[1] См. «Автоматы». Сб. статей, М., 1956, статья Д. Г. Калбертсона «Некоторые неэкономичные роботы».

В кибернетическом устройстве эти связи определяются программой. Она указывает, какие действия и в какой последовательности должны производиться после тех или иных воздействий.

Таким образом, проблема создания искусственного человека сводится к тому, чтобы собрать вместе достаточное количество рецепторов, эффекторов и, главное, соединяющих их центральных элементов и затем разработать достаточно сложные программы, предусматривающие такие соотношения между стимулами и реакциями, какие мы имеем у людей. Уже сейчас создаются роботы, способные выполнять некоторые функции человека. Более сложные роботы выполнят большее количество функций. По мере увеличения числа элементов в электронной машине она все больше и больше будет приближаться к человеку, пока наконец не будет создан полный робот — искусственный человек.

Все нейроны такого робота можно поместить в особое предохраняющее устройство — тело, внутри которого располагаются различного типа двигатели.

Одни двигатели изменяют форму тела и его частей, другие передвигают робот в окружающей среде с той разницей, что робот может быть построен по желанию с колесами вместо ног. Можно снабдить робота специальными приспособлениями для починки полученных повреждений и т. д.

Для изготовления такого робота потребуется гораздо больше нейронов, чем их содержится в живом человеке. Природа достигает тех же целей с помощью меньшего количества клеток. С этой точки зрения наши роботы «неэкономичны». Но это уже затруднения технического, а не принципиального порядка. Возможно, что в будущем их удастся преодолеть, как были преодолены в свое время трудности, связанные с практическим использованием атомной энергии.

Таковы соображения, которые Калбертсон считает общей основой для конструирования роботов, способных производить любые действия в любых обстоятельствах. Они будут сочинять симфонии, создавать произведения искусства и литературы, преследовать какие угодно цели.

Интересны рассуждения по поводу «полных» роботов в книге советского автора И. А. Полетаева «Сигнал». Полетаев говорит о целой иерархии отдельных «частных»,

«неполных» роботов, которые в своей совокупности дают «полный» робот, способный заменить человека [1].

Предположим, говорит он, что каждой из возможных комбинаций возбуждений входных нейронов-рецепторов соответствует возбуждение одной центральной клетки. Поскольку число комбинаций из данного числа элементов значительно больше числа самих элементов, то центральных клеток требуется больше, чем рецепторов. С другой стороны, с каждой центральной клеткой соединяется определенная группа эффекторов. Подобные устройства с определенными правилами поведения будем считать роботами младшего типа.

Для управления роботами младшего типа можно соорудить другой, «старший» робот, который приводит в действие «младшие» роботы в соответствии со своей программой. Над ним будет стоять «старший» робот второго класса, который изменяет программу робота первого класса в зависимости от тех или иных воздействий внешней среды.

«Старшие» роботы приводят в действие «младших», проверяют их поведение и, если они не справляются со своими обязанностями, отключают их или заставляют соответствующим образом изменяться. В целом это напоминает приспособление животных к окружающей среде.

Для создания все более и более сложных машин необходимо увеличивать число этажей управления, пока не получится «полный» робот. Такова точка зрения И. А. Полетаева. Рассмотрим еще одну.

«Умнее» человека

«Полный» робот — это автомат, способный выполнить любые действия, в том числе все мыслительные функции человека. А нельзя ли построить такую машину, которая превосходила бы своего создателя, была бы умнее самого человека? На первый взгляд этот вопрос может показаться абсурдным. Разве можно создать нечто умнее самого себя? Не напоминает ли это рассказ о бароне Мюнхаузене, поднявшем себя за волосы?

Однако люди построили своими руками такие машины, мощность которых во много раз превосходит силу их рук. Правда, они использовали при этом силы природы, благодаря чему созданные ими машины и оказались могущественнее их самих. Но, может быть, силы природы

[1] См. *И. А. Полетаев*, Сигнал, М., 1958, стр. 385—390.

можно использовать для создания аппаратов, усиливающих мыслительные способности человека?

Чтобы ответить на этот вопрос, нужно прежде всего выяснить, что является показателем степени развития умственных способностей. По мнению Эшби, таким показателем не может считаться большая или меньшая способность образовывать в уме различные комбинации. Если какую-нибудь, скажем математическую, формулу сопоставить с некоторой последовательностью перемещений молекул, то оказывается, что хаотическое движение молекул образует комбинацию, выражающую данную формулу, свыше 100 тыс. раз в секунду в каждом кубическом сантиметре воздуха. Любой ребенок может случайно пролепетать ту или иную научную истину.

Приведем еще одно соображение. Известно, что мысли выражаются в языке с помощью предложений, т. е. различных комбинаций слов. Если перебрать все возможные комбинации слов и предложений и записать их, то получится библиотека, заключающая научные открытия и вообще знания прошлого, настоящего и даже будущего. Именно таким образом и пыталась постигнуть истину академия Лапуты, которую посетил Гулливер.

Не будем говорить, что вряд ли удалось бы когда-нибудь получить все в принципе возможные предложения не только посредством лапутянских колес и рычагов, но и с помощью электронных машин, способных перебирать миллионы комбинаций в секунду. Главная беда в том, что среди этих комбинаций окажутся далеко не одни научные истины и истины вообще, гораздо больше будет ложных или просто бессмысленных сочетаний. Если люди не смогут отделить первые от вторых, то решительно никаких знаний из всего огромного количества таких предложений они не извлекут.

Дело не в способности образовывать комбинации, а в умении производить надлежащий *отбор среди них*. Ребенка, который случайно пролепетал истину: $\mathrm{Cos}^2x+\mathrm{Sin}^2x=1$, нельзя считать на этом основании математиком, так как с точно таким же успехом он может сказать, что $\mathrm{Cos}^2x+\mathrm{Sin}^2x=2$, и т. д. Он не отличает истинных положений от ложных, не делает отбора среди них. Способностью человека выбрать из большого числа возможностей именно то, что ему нужно, и определяется, согласно Эшби, степень развития его ума.

Отбор можно разбить на ряд стадий, одну из которых выполняет человек, а другие совершаются сами собой, под действием сил природы. Например, садовник отбирает камни из почвы с помощью решет. В зависимости от того, какие цели преследуются, он применяет решета с большими или меньшими отверстиями. Таким образом, отбор камней сам по себе производится не садовником, а решетами, садовник же отбирает только решета.

Если конструктор построит такую машину, которая сможет производить отбор из большего числа комбинаций, чем он сам, это будет означать, что машина обладает большими мыслительными способностями, чем ее создатель.

Говоря о такого рода системах, Эшби ссылается на свой гомеостат. Из множества случайных комбинаций здесь нужно отобрать те сигналы, которые удовлетворяют некоторому условию (например, центральному положению стрелок). Число комбинаций так велико, что конструктор не в состоянии ни предвидеть их, ни отобрать среди них ту, которая требуется в данном случае.

Но с этой задачей, которую не способен решить конструктор, с успехом справляется гомеостат.

По мнению Эшби, можно построить такие гомеостаты, которые будут не просто отбирать одну из случайных комбинаций, не заключающих в себе какого-либо определенного смысла, но и решать практически важные задачи, с которыми не в силах справиться человек.

Если бы такая машина получила все возможные комбинации слов и предложений, она могла бы отобрать среди них те, которые выражают истинные мысли. Здесь условием, которому должна удовлетворять данная комбинация, будет ее истинность. Конечно, все эти комбинации машина отберет лишь в том случае, если их истинность будет определена формально. Такая формализация в некоторых случаях возможна. По формальной структуре комбинаций иногда можно судить об их истинности или ложности. Например, предложение, имеющее форму $A \vee B \vee C \vee \bar{A} \vee Д$, несомненно истинно. Это дизъюнкция. Она истинна, если является истинным хотя бы один из ее членов. Такой член здесь есть (A или $\bar{A}$). Если A ложно, тогда истинно $\bar{A}$, если ложно $\bar{A}$, тогда истинно A. Например, мысль «Этот

карандаш или черный, или белый, или зеленый, или не черный, или коричневый» истинна, какого бы цвета ни был карандаш, так как всякий карандаш или черный, или не черный.

Можно сделать так, чтобы состояние равновесия в гомеостате наступало всякий раз, когда полученная комбинация выражает истинную мысль. Таким образом будут отобраны все истинные предложения.

Но сколько времени потребуется для того, чтобы перебрать все возможные комбинации?

Эшби подсчитал это на примере такой задачи. На шахматной доске имеется 10 белых и 10 черных фигур. Требуется найти наилучшие комбинации двух последовательных ходов белых и черных. Для этого машина должна перебрать 6^{40} различных комбинаций. Это значит, что, если она будет пропускать 1 млн. комбинаций в секунду, ей потребуется для решения этой задачи миллиард миллиардов лет. Однако Эшби считает, что при наличии некоторых дополнительных условий можно сократить до приемлемого срока то время, которое требуется для решения таких задач. Важно то, что человек-конструктор в принципе не способен их решить. Подобно тому как садовник отбирает не сами камушки из почвы, а решета, которые это сделают значительно быстрее и лучше его, так конструктор делает лишь первоначальный отбор, создавая машину, которая затем производит операции отбора второй степени, уже недоступные человеку.

Некоторые предубеждения

Идея о том, что машина может заменить человека и даже превзойти его не только физически, но и умственно, вызывает у многих стихийный протест. Она воспринимается как посягательство на человеческое достоинство, как низведение живого человека до уровня неодушевленного предмета.

Такого рода чувства сами по себе не могут служить аргументом против осуществимости этой идеи. История уже не раз наносила удары подобным предубеждениям. В свое время людям было очень трудно поверить в то, что Земля — это не центр вселенной, вокруг которого движутся Солнце и звезды, а обыкновенная, рядовая планета, вращающаяся вокруг Солнца наряду с другими такими же планетами. Вспомним также, с каким трудом пробивала себе дорогу теория Дарвина, так как многих ужасал-

мысль о том, что человек, этот «венец творения», может быть «родственником» обезьян.

В настоящее время уже никого не оскорбляет ни то, что Земля не находится в центре вселенной, ни то, что люди произошли от обезьяноподобных предков. Но мысль о возможном «родстве» человека с машиной кажется недопустимым умалением достоинств человека, отрицанием примата разума, как пишет французский физиолог П. Косса в заключении своей книги о кибернетике [1].

Создание каких бы то ни было машин зависит от возможностей человеческого мозга. Машины сами не могут возникнуть, их конструирует человек. Чем более совершенны вновь изобретенные устройства, тем умнее должен быть изобретатель. Вопрос о создании машин, заменяющих человека,— это вопрос о том, в состоянии ли мозг человека решить такую задачу. Получается, что силу человеческого разума умаляет не тот, кто допускает, а тот, кто отрицает способность человека сконструировать такие машины.

Таким образом, возражение против возможности создания электронного мозга, основанное на чувственном стремлении отстоять превосходство человека, приводит к противоречию.

Чтобы доказать примат разума, нужны не эмоции, а разумные соображения. Такие соображения стремятся привести многие критики проектов искусственного мозга. Среди них различаются два основных направления. Одни указывают на конкретные различия в поведении машины и человека, давая примеры задач, которые, по их мнению, не может решить искусственный мозг, но решает настоящий. Другие подчеркивают принципиальную разницу между мозгом и машиной, допуская, что поведение само по себе может быть у них одинаково. Первые приводят главным образом доводы физиолого-психологического и логико-математического характера, вторые — философского.

Рассмотрим аргументы первого направления.

[1] См. *П. Косса*, Кибернетика, стр. 120.

3. Существуют ли такие черты поведения человека, которые нельзя воспроизвести в машине?

Условные рефлексы

Ряд ограничений возможностей машин выдвигают некоторые физиологи. Они допускают, что в механизмах могут быть безусловные рефлексы. Но никакая машина не способна, по их мнению, выработать у себя условный рефлекс, являющийся исключительной особенностью только живых существ. В этом принципиальное различие между машиной и животным. Что касается «черепахи» Уолтера и «мыши» Шеннона, то те черты их поведения, которые связывают с понятием «условный рефлекс», в действительности ничего общего с последним не имеют. Условный рефлекс у животных образуется в ответ на любые раздражители, а у черепахи Ко́ры и безусловный и условный раздражители определены конструктором. У животных условные рефлексы изменяются под влиянием среды, а у Ко́ры остаются неизменными. Поэтому, как пишет французский физиолог П. Косса, нельзя сказать, что Уолтер воспроизвел подлинный условный рефлекс, во всей его гибкости и жизни. Тем более нельзя сказать, что структура, которую он реализовал, тождественна или даже аналогична структуре, которая поддерживает условный рефлекс животного [1].

С этим нельзя не согласиться. У Ко́ры вырабатывается только тот очень ограниченный круг рефлексов, который предусмотрен конструктором. Верно и то, что рефлексы у живых существ наблюдаются в ответ на неизмеримо большее число внешних воздействий, чем у механизмов: на звук, свет, разного рода механические воздействия и т. д. Но можно ли сказать, что рефлексы вырабатываются на любые раздражители?

Звук, свет и т. п. имеют биологическое значение для животных. А если взять такой раздражитель, как радиоволны, то он не действует ни на животных, ни на человека, если эти волны не преобразуются в звук. Многие животные, как оказалось, не реагируют даже на цвет. В частности, быка на арене цирка возбуждают исключительно механические действия тореадора, а отнюдь не красный цвет его плаща.

[1] *См. П. Косса*, Кибернетика, стр. 72.

Следовательно, круг раздражителей, связанных с безусловными рефлексами, ограничен не только у машины, но и у животных. Что же касается самих безусловных рефлексов, то их возможное число тем более не является бесконечным. Животные имеют только те безусловные рефлексы, которые «запрограммированы» в его половых клетках. Цыпленок, выскочив из яйца, начинает клевать. Котенок не будет клевать, в нем заложена совсем другая «программа», чем у цыпленка.

Безусловных рефлексов у животных сравнительно мало. Поэтому в принципе вполне возможно построить такие модели, в которых на основе этих численно ограниченных рефлексов и определенных раздражителей вырабатывались бы условные рефлексы. Последние могут даже изменяться под влиянием внешнего окружения. Конструктор в состоянии это предусмотреть, поскольку число возможных изменений среды, на которые организм реагирует, также далеко не бесконечно.

В 1956—1957 гг. на страницах журнала «Вопросы философии» обсуждался вопрос о том, могут ли в механизмах вырабатываться условные рефлексы. Инженер И. И. Гальперин, выступая против утверждения физиолога Ю. П. Фролова [1] о том, что управляющие машины нельзя назвать рефлекторными и что рефлекс обязательно связан с нервной системой, подчеркивает, что содержание понятия «рефлекс» не связано с тем, что именно его реализует. Ссылаясь на определение И. П. Павлова, он показывает, что в том самом смысле, в каком употребляет этот термин И. П. Павлов, условный рефлекс воспроизводится в машинах [2].

Способность обучаться

Следующее ограничение возможностей механизмов касается способности машин обучаться. Оно непосредственно связано с первым. Если в механизмах не образуется настоящих условных рефлексов, то не может быть речи и о действительном обучении их. Можно создать лишь некоторую его видимость [3]. Поскольку в машине конструируются соответствующие органы, она уже заранее обладает возможностью делать то, чему ее хотят «научить».

[1] См. «Вопросы философии» № 3, 1956, стр. 119—121.
[2] См. «Вопросы философии» № 4, 1957, стр. 159.
[3] См. *П. Косса*, Кибернетика, стр. 114.

Но эта возможность проявляется не сразу, а лишь при определенных условиях. «Если мотор моей машины работает более покладисто после 5000 километров, чем при выходе с завода, скажу ли я, что он обладает способностью обучаться?» — спрашивает П. Косса.

Но, если известно, что какой-то x стал лучше ходить после того, как прошел 50 километров, можно ли сказать, что он научился ходить? Прежде чем ответить на этот вопрос, П. Косса, вероятно, захочет узнать, что такое x. Относительно человека можно сказать, что он научился, а о корабле этого сказать нельзя. Очевидно, понятие обучения связывается не с поведением, а с чем-то другим, так как с точки зрения изменений во внешнем поведении между мотором, кораблем и человеком в данном случае различия нет. Одинаковое поведение следует одинаково и называть, независимо от того, кому оно принадлежит. Здесь же к машинам и живым существам применяются разные мерки, чем уже заранее предопределяется результат сравнения.

Не только машина, но и животное и даже человек могут научиться далеко не всему, а только тому, для чего есть определенные природные данные. Попробуйте обучить орла высшей математике или заставить человека парить под облаками, раскинув в стороны руки. Человек, поступая в вуз, имеет возможность изучить высшую математику. Но эта возможность реализуется не сразу, а лишь при определенных условиях. Разве можно сказать в этом случае, что обучение — только видимость? Конечно, нет.

Можно подвергать более или менее основательному сомнению способность «черепах» и «мыши» чему-то действительно научаться. Однако никак нельзя отрицать тот факт, что машина, управляющая доменным процессом, именно обучается этому делу. Другой термин в данном случае даже трудно придумать. Если вдобавок к сказанному о современных машинах учесть еще возможности будущего, то отрицание способности механизмов обучаться будет выглядеть чрезвычайно искусственным.

Изменение структуры

Третье принципиальное различие между живым организмом и машиной критики проектов искусственного мозга видят в том, что машина обладает неизменной структурой, в отличие от животных, у которых разрушение тех или иных центров

в мозгу не выводит из строя организма и может даже не отразиться на поведении животного. У лягушки, например, можно вынуть почти весь мозг, и это очень мало изменит ее поведение. Известно, что у Пастера болезнь уничтожила всю правую половину мозга, но это не помешало ему стать великим ученым. Это объясняется тем, что функции одной части передаются другим частям, так что вся структура мозга изменяется, приспосабливаясь к новым условиям.

Между тем у машины, как указывает румынский физиолог И. Бэлэнеску, выход из строя хотя бы одного элемента или расстройство одного лишь контакта из существующих сотен тысяч контактов может вывести из строя всю систему [1]. Каждый элемент машины приспособлен к выполнению строго определенных операций и не способен совершать другие. Уничтожение элемента означает невозможность выполнения соответствующей операции. Электронный мозг не в состоянии изменяться, приспосабливаясь к новым условиям.

Это справедливо относительно подавляющего большинства существующих машин. Однако уже в гомеостате Эшби частичные поломки не оказывают влияния на правильность его функционирования. Вполне возможно также создание в счетных машинах таких взаимозаменяющих друг друга устройств, в которых при выходе из строя одной части автоматически вступала бы в действие другая. Никаких принципиальных препятствий для этого не существует.

Вместе с тем необходимо отметить, что и у животных и у человека способность к изменению структуры и взаимозаменяемости частей весьма относительна. Она тем меньше, чем более развито животное. Червяк, разрезанный пополам, продолжает жить, но маленькой пули достаточно, чтобы убить человека.

Причинность и случайность

Существенное отличие машины от мозга, с точки зрения некоторых, заключается в том, что любое состояние машины строго определено ее предшествующим состоянием. Машина не может функционировать в данный момент иначе, чем ей было предписано в предыдущий.

[1] См. «Вопросы философии» № 3, 1957, стр. 166.

Но это не совсем верно. Состояние машины определяется всем комплексом причин, которые на нее влияют, в том числе и внешними условиями. Под влиянием тех или иных внутренних и внешних причин состояние машины в какой-то момент времени может оказаться совсем не таким, которое предусматривалось программой.

Это не значит, конечно, что машина действует как попало. Любой ее акт строго определен причинно. Точно так же все действия животных и человека всегда вызываются определенными причинами. При этом поведение их в каждый данный момент в значительной мере зависит от их предшествующего состояния.

Конечно, причинная обусловленность не исключает случайности. Некоторые особенности поведения не вытекают из внутренних закономерностей, характеризующих данную вещь, а вызываются теми или иными случайными внешними воздействиями. На голову человека может упасть камушек, в результате чего образуется ранка. В ответ на это организм соответствующим образом перестраивается, и она заживает. Аналогичные явления происходят и в машине. Нельзя считать, что механизм либо «не обращает внимания» на случайные внешние воздействия, либо, если они достаточно сильные, разрушается и перестает функционировать как таковой. Есть машины, которые используют эти воздействия в процессе своей работы, например гомеостат. Так что нет никаких принципиальных препятствий к тому, чтобы машины будущего изменяли схемы соединений между своими элементами или даже число охватываемых этими соединениями элементов под влиянием разного рода случайных внешних воздействий.

Обмен веществ

Животное и человек постоянно взаимодействуют с внешним миром. В них происходит непрерывный обмен веществ с окружающей средой. Эта особенность, с точки зрения некоторых, является исключительным свойством живых организмов, ни в какой мере не присущим механизмам.

Действительно, до сих пор, насколько нам известно, обмен веществ не использовался для решения тех задач, которые ставились перед машинами. Но нельзя сказать, что обмен веществ полностью исключен в неживой природе. Каждое тело непрерывно излучает и поглощает энергию, которая, согласно данным современной физики,

неразрывно связана с массой. Следовательно, речь идет о поглощении и испускании массы. Заряженные частицы непрерывно взаимодействуют с электромагнитным полем, обмениваясь квантами этого поля — фотонами. По мнению многих ведущих физиков, взаимодействие между частицами, входящими в состав атомного ядра, — нейтроном и протоном — связано с тем, что эти частицы обмениваются друг с другом третьей частицей — мезоном, который непрерывно переходит от нейтрона к протону и наоборот.

Таким образом, обмен материей является существенным свойством не только живых организмов, но и неживой природы. В случае необходимости это обстоятельство может быть использовано и при конструировании машин.

Возможность развития

Все живое развивается, переходя от низшего к высшему. Может ли развиваться машина? Отрицать развитие в неживой природе вообще — невозможно, иначе было бы совершенно непонятно, каким образом из неживой материи возникла живая. Конечно, переход от низших форм к высшим, усложнение структуры в неживой природе происходит более медленно и хаотично, чем в живых организмах. Но если сконструировать такие машины, в которых эти процессы будут протекать быстрее, то это дало бы возможность использовать данные процессы для тех или иных определенных целей. Можно, например, создать такой механизм, который усложнял бы со временем свою структуру под влиянием воздействий окружающей среды; элементы этого уже есть в современных обучающихся машинах. Управляющая домной машина к концу «обучения» является, несомненно, более сложной, чем вначале. Конечно, для такого развития нужны известные предпосылки, определенная исходная программа. Но они также необходимы и живой природе: яичный зародыш развивается в цыпленка, а не в верблюда.

Размножение

Все живые организмы размножаются. Что же касается машин, то допущение такой способности у них на первый взгляд может показаться просто абсурдным. Ясно, что машины сами по себе не рождают других машин. Однако и этот, последний из серии биологических аргументов против возможности создания искусственного человека оказывается несостоятельным. Правда, существовавшие до сих пор и суще-

ствующие теперь машины не размножаются. Но в принципе создание подобных машин возможно, как было доказано известным математиком Д. Нейманом.

Собственно говоря, одни машины производят другие и сейчас, только это происходит при участии других машин и человека. Если создать такое устройство, которое без помощи других машин производило бы себе подобное, и полностью автоматизировать этот процесс, то будет получена машина, которая размножается. Такая машина должна, конечно, иметь материал, из которого она сама могла бы построить по особой программе новую машину. Последняя, в свою очередь, соорудила бы третью, и так до тех пор, пока хватит материала. Этот процесс обнаруживает довольно полную аналогию с размножением живой клетки.

Наряду с возражениями биологического характера приводится целый ряд аргументов с точки зрения психологической и логической.

Творческая деятельность

Признавая большие возможности развития «думающих» машин, многие вместе с тем ограничивают их только такими задачами, решение которых не требует творчества, полета фантазии. Машина не может быть художником или поэтом, она не в состоянии что-либо изобрести. Осуществляя некоторые специальные переводы, она, однако, никогда не заменит настоящего квалифицированного переводчика художественных произведений, не говоря уже о стихах.

По поводу этого необходимо заметить следующее. Нельзя думать, что одни задачи человек решает чисто механически, другие целиком творчески. Китайской стены между ними нет. Подавляющее большинство задач в той или иной мере включает в себя оба эти момента. Степень творчества зависит при этом от количества знаний и тренировки. Совершенно одинаковые задачи от одних требуют больше творческой мысли, чем от других. Древние египтяне творчески решали такие задачи, как сложение дробей. Для них это было делом очень большой трудности. Современный же школьник производит это действие очень просто, путем приведения к общему знаменателю. Некоторые задачи являются творческими, если они решаются с помощью элементарной математики. Но те же задачи можно решить почти меха-

нически, применяя методы высшей математики. Перевод с одного языка на другой также может быть или делом в высшей степени творческим, или почти механическим, в зависимости от уровня лингвистических знаний и общего развития переводчика.

Таким образом, задачи, требующие сейчас больших творческих усилий, могут с течением времени стать механическими и решаться методами, доступными машине. Это с одной стороны. С другой стороны, сами машины со временем, возможно, будут в состоянии решать задачи более творческого характера, чем современные. Это, конечно, предполагает некоторый не только формальный, но и смысловой анализ. Современная теория информации, как мы знаем, очень мало связана со смысловой стороной сообщений. Но это не значит, что в принципе невозможно углубление этой теории в данном направлении. Такая работа уже ведется. Ряд ученых (Карнап, Бар Хиллел) разрабатывают в настоящее время теорию так называемой семантической информации, связанную со смысловым анализом сообщения.

Несомненно, что задачи творческого характера, так же как механические, машина будет решать совсем не так, как человек. Но это уже другой вопрос. В данном случае речь идет о результате, а не о том, каким образом он получается. Впрочем, относительно самого способа решения задач также нельзя утверждать категорически, что здесь существует принципиальная разница между мозгом и машиной. Сознание связано с деятельностью нервных клеток мозга. Это нам известно. Но, как связаны между собой отдельные клетки — так же, как части машины, или совсем иначе — этого мы не знаем. Вполне возможно, что будущее развитие науки вскоре найдет много общего между машиной и человеком и в этой области.

Способность ставить вопросы

Выдающийся физик А. Эйнштейн, касаясь вопроса о возможностях машин, писал: «Что бы ни делала машина, она будет в состоянии решить какие угодно проблемы, но никогда она не сумеет поставить хотя бы одну».

С этим утверждением многие согласны. Однако оно внутренне противоречиво. Если машина решает любые проблемы, она в состоянии решить и проблему постановки новых задач.

Современные машины могут предлагать несколько вариантов решения заданной им задачи, ставя человека перед необходимостью выбора одного из них, т. е. давая ему в свою очередь какую-то задачу. Человек, потерявший вещь, ставит перед собой вопрос о том, где она находится, и стремится добиться ответа, разыскивая эту вещь. Таким же образом переводческая машина ставит и разрешает вопрос о том, в каком месте словаря находится нужное ей слово. Разумеется, внутренние процессы, сопутствующие вопросу и поискам ответа на него, у человека и машины могут быть разными. Но в данном случае речь идет не об этом. Для нас важно то, что поведение машины, разыскивающей слова для перевода, одинаково с поведением человека, у которого возник вопрос о том, куда делась его вещь. Машина ведет себя именно так, как если бы она ставила перед собой какие-то задачи.

Конечно, постановка проблемы машиной определяется программой и в этом смысле не является чем-то новым. Но и решение задач также определяется программой машины и в этом смысле не есть что-то новое. С этой точки зрения принципиальной разницы между решением и постановкой проблемы нет, как нет оснований отрицать возможность создания механизмов, способных ставить вопросы. Сконструировать такие машины в принципе можно, но в настоящее время люди практически больше заинтересованы в машинах, отвечающих на вопросы, так как существует чрезвычайно много неразрешенных проблем, поставленных человеком без помощи машин.

Способность критиковать

Утверждают, что машина, в отличие от человека, не может относиться критически к тем заданиям, которые она получает. Абсурдную задачу она решает так же охотно, как и правильно поставленную.

Но действительно ли машина одинаково решает как правомерные, так и абсурдные проблемы? Ведь абсурдность проблемы означает противоречие законам логики, которые машина строго соблюдает. В таком случае она должна каким-то образом выразить, что характер постановки вопроса исключает возможность его решения, и отказаться выполнять задание. Таким образом она осуществит какую-то критическую функцию, поскольку критика есть не что иное, как указание на противоречие

данного положения общеизвестным фактам. Уже первые шахматные автоматы особым сигналом реагировали на те ходы своего партнера, которые не соответствовали правилам шахматной игры. После второго неправильного хода машина отказывалась играть, так что утверждать принципиальную невозможность развития критического «мышления» у механизмов нет никаких оснований.

Способность к обобщениям

Теперь возникает такой вопрос. При решении логических задач машина оперирует абстрактными символами. Но может ли она сама по себе делать обобщения, переходить от конкретного к абстрактному, как это делает уже ребенок, который при счете начинает от своих пальцев и постепенно приходит к общему понятию о числе?

Многие отрицают такую возможность. Между тем вопрос о переходе к общему в процессе работы машины уже находится в стадии разрешения. Взять хотя бы создаваемые в настоящее время автоматические устройства для чтения, предназначенные для слепых. Зрительные начертания преобразуются здесь в звуковые сигналы. Но не во всех книгах одинаковый шрифт. Одни и те же буквы имеют разные размеры и форму. Если бы характер звуков менялся в зависимости от такого рода различий, тогда нельзя было бы установить однозначное соответствие между буквами и звуками и люди не могли бы читать текст, который они не видят. Для этого необходимо сделать так, чтобы одна и та же буква, каким бы шрифтом она ни была набрана, передавалась одним и тем же звуковым сигналом. Это возможно только в том случае, если машина сумеет абстрагироваться от размеров букв и других особенностей шрифта, т. е. делать определенные обобщения.

В дальнейшем, несомненно, будут созданы машины, способные к более сложным формам обобщения. В упомянутом выше сборнике «Автоматы» имеется статья Д. М. Маккея «Проблема образования понятий автоматами». В ней вопрос о перспективах развития абстрагирующих способностей у механизмов рассматривается совершенно конкретно на инженерно-математическом языке. Речь идет о способах выражения отвлеченных понятий определенными материальными символами. Результаты работы машины всегда должны быть представлены в виде каких-то физических процессов. Только в такой форме

и можно использовать эти результаты. В данном случае материальные символы понятий позволяют судить об абстрагирующей деятельности машин.

Индукция, аналогия и гипотеза

Известный логик из ГДР Георг Клаус считает, что машина способна к дедукции, к выводам от общего к частному, но ей недоступны другие типы умозаключений, исследуемых логикой, — индукция, аналогия и гипотеза.

Если признать, что машина может делать дедуктивные выводы, то вряд ли можно отрицать ее способность к индукции, выводам по аналогии и выдвижению гипотез. Возьмем такой пример. К каким умозаключениям прибегает врач, когда он ставит диагноз болезни? Он выясняет обстоятельства заболевания, наблюдает симптомы, строит предположения, на основании которых делает еще какие-то исследования в соответствующем направлении, сопоставляет все полученные результаты с предшествующими фактами аналогичного характера и, наконец, ставит соответствующий диагноз. О враче в этом случае говорят, что он выдвигает гипотезы, прибегает к аналогиям и делает индуктивные выводы. Но почему же нельзя сказать того же самого о машине, выполняющей функции врача?

В павильоне Академии наук на Выставке достижений народного хозяйства СССР демонстрируется электронный врач, который может определять 96 заболеваний по сочетаниям различных признаков того или другого из них.

При этом машина иногда превосходит живого человека, в отношении точности распознавания болезни. Французский исследователь Франсуа Пеша заложил в «память» машины 800 признаков заболеваний роговой оболочки глаза и соответствующую программу, по которой можно поставить диагноз. Разобрав жалобы больного, машина дала пять вариантов возможных заболеваний. Она выдвинула, таким образом, не одну, а пять гипотез, в то время как опытный врач смог высказать лишь одну из них; четыре другие возможности ему просто не пришли в голову. Таким образом, машина поставила перед людьми или перед другой, более сложной машиной задачу дальнейшего исследования с целью окончательной постановки диагноза.

Необходимость алгоритма

Выше говорилось о том, что машина может работать только при наличии специально составленной программы, соответствующей алгоритму данной задачи, т. е. той последовательности операций, которую необходимо произвести, чтобы ее решить. Алгоритмы можно составить для решения многих сложных задач, разложив эти задачи на очень простые операции. Но для всех ли задач это возможно? В ряде современных работ, в частности в трудах П. С. Новикова, А. А. Маркова и многих других, показано, что существуют такие задачи, для которых нельзя составить алгоритмов. Это обстоятельство рассматривается как свидетельство принципиального различия между мозгом и машиной.

Существование алгоритмически неразрешимых проблем опровергает, по мнению некоторых математиков, идею о том, что машина может заменить человека. Однако тот или иной признак можно использовать для характеристики принципиального различия между двумя вещами только в том случае, если у одной из них имеется этот признак, а другая им не обладает. Как обстоит дело в данном случае? Машина не в состоянии решать алгоритмически неразрешимые проблемы. Но человек тоже не способен на это. Он, как отмечают академик С. Л. Соболев и профессор А. А. Ляпунов, в состоянии находить у массовых задач, неразрешимых алгоритмически, только разрешимые частные случаи; при этом задачу разыскания ответа при помощи перебора случайных попыток может, по их мнению, решать и очень сложная машина.

Таким образом, здесь нужно говорить не о различии между мозгом и машиной, а об их сходстве, причем довольно глубоком.

Эмоции

Указывают еще на одно принципиальное отличие машины от живого мозга, заключающееся в отсутствии у машины эмоций, которые присущи каждому человеку. Машина не радуется, не огорчается, не плачет, не смеется, не сердится; она ничего не чувствует, ничего не желает; все свои действия она производит совершенно бесстрастно. Совсем другое дело — человек. Что бы он ни делал, все окрашено различными эмоциями, даже если он сам этого не хочет.

Все это бесспорно верно. Но всегда ли так будет? Можно ли в принципе создать машины, которые обладали бы человеческими чувствами?

Этот вопрос имеет две стороны, существенно отличающиеся одна от другой. Если речь идет о внешних проявлениях, о том, чтобы машина вела себя так, как если бы она была наделена чувствами, чтобы она в соответствующих случаях смеялась или плакала, хмурилась или восторгалась, то создание машины с эмоциями без сомнения вполне возможно. Уже в александрийских храмах были статуи богинь, которые умели «плакать». Ясно, что техника будущего сумела бы имитировать в машине гораздо более сложные формы проявления эмоций. Совсем другое дело — эмоции в смысле внутренних, психических переживаний. Можно ли создать машину, которая бы радовалась и страдала не только внешне, но и внутренне, так, как радуется и страдает человек?

Для ответа на такой вопрос необходимо выяснить, может ли у машины в принципе появиться сознание, о чем будет речь ниже.

Итоги

Подведем некоторые итоги. Все то, о чем говорилось в этом разделе, относится к поведению машин в сравнении с поведением человека. Сторонники разобранных выше точек зрения хотели найти такие особенности в поведении человека и животных, которые принципиально не могут быть присущи никаким машинам, несмотря на любой прогресс техники. В частности, они стремились найти такие задачи, которые решает человек, но совершенно не способна решить машина.

Мы выяснили, что все рассмотренные выше различия, поскольку они касаются поведения, не являются принципиальными, непреодолимыми. Техника конструирования управляющих автоматов развивается так быстро, что есть все основания надеяться на устранение этих различий в сравнительно недалеком будущем. Многие из них уже преодолены или преодолеваются сейчас.

Убеждение в действительной принципиальности, в непреодолимости указанных различий заставило бы конструкторов остановить все попытки их устранения, что нанесло бы большой вред развитию техники. В первое время после появления кибернетики ряд наших философов, психологов и математиков выступили против этой

науки вообще, они считали невозможным выполнение машиной каких-либо функций нервной системы.

Успехи кибернетики заставили отступить скептиков, однако ровно настолько, насколько их убеждения опроверглись практическим конструированием соответствующих устройств.

Но если мы не хотим ставить такого рода препятствия развитию автоматики, то означает ли это, что мы должны отказаться от выяснения и признания качественного различия между машиной и мозгом? Нет, не означает. Это было бы ошибкой не менее вредной. Необходимо различать внутренние основания тех или других явлений и их внешнее проявление, причину и результат, побудительные мотивы и функционирование. Очень сходные действия могут производиться совершенно разными внутренними причинами. Можно считать возможным воспроизведение в машине любой черты, характеризующей поведение животных и человека, и вместе с тем признавать принципиальное различие между ними, мало того, даже преувеличивать это различие.

Эта проблема связана с основным философским вопросом о природе сознания и его отношении к материи.

4. Машина и сознание

Мышление и сознание

Если бы в поведении машины не было никаких черт, принципиально отличающих ее от человека, если бы она способна была выполнить любую задачу, которую решает человек, означало ли бы это, что машина мыслит? Являются ли управляющие машины *думающими* в полном смысле этого слова?

Многие кибернетики дают положительный ответ на этот вопрос. Французский специалист по кибернетике Л. Куфиньяль считает, что, поскольку машина заменяет человека в его мыслительных функциях, она с полным правом может быть названа думающей. Решая математическую задачу, она мыслит, как математик; делая переводы с одного языка на другой, думает, как переводчик; ставя диагноз болезни, рассуждает, как врач.

Похожее, но несколько менее точное определение способности машины к мышлению дает известный английский математик А. М. Тьюринг: «Машина считается спо-

собной мыслить, если она может при известных предписанных условиях подражать человеку в ответах на вопросы настолько хорошо, чтобы обмануть на значительный период времени человека, задающего вопросы»[1].

Здесь не указано, о каких именно условиях идет речь и сколько времени машина должна обманывать человека, для того чтобы ее можно было считать думающей. Существующие в настоящее время машины, по мнению Тьюринга, не удовлетворяют его условию и, следовательно, не думают. Но они будут думать через несколько десятков лет[2].

Такое истолкование понятия «думать» противоречит всем нашим представлениям о мышлении. Малоразвитый студент при помощи определенных приемов может на некоторое время ввести в заблуждение экзаменатора. Но, когда обман обнаружится, это будет означать, что экзаменатор «ошибался» и что студент на самом деле не думал так, как он стремился показать. Почему же, обнаружив «обман» со стороны машины, мы должны тем не менее считать, что она была думающей? Совершенно очевидно, что здесь к машине и человеку прилагаются разные мерки и отождествление их с этой точки зрения оказывается неправомерным.

То же самое можно сказать и по поводу определения Куфиньяля. Одни и те же цели достигаются совершенно различными способами. Например, узнать, чему равно 129^3, можно либо путем вычисления, либо с помощью таблицы кубов. Результаты в том и другом случае будут одинаковы. Но странно было бы на этом основании утверждать, что разыскивание в таблице означает вычисление, и наоборот.

Существует и такое мнение, что сами вопросы о том, мыслит ли машина, можно ли машину называть живой и т. д., не имеют никакого значения. Все зависит от того, какой смысл вкладывать в слова «мыслить» и «живой». А мы вправе вложить в них тот смысл, какой окажется наиболее удобным для нас. Такой точки зрения придерживается и сам основатель кибернетики Н. Винер. По этому поводу он ссылается на сказочного персонажа Хампти-Дампти из замечательной сказки Л. Кэррола

---

[1] «Автоматы», стр. 8.
[2] См. там же.

«Алиса в стране чудес». Хампти-Дампти говорит, что он заставляет свои слова делать все, что ему угодно. Захочется ему считать машину живой и мыслящей, для этого нужно только вложить в соответствующие слова нужный смысл — и машина будет живой и мыслящей.

Конечно, в одни и те же слова в зависимости от обстоятельств вкладывают иногда разный смысл, но их понимание в этом случае является сугубо условным. Можно решить называть «думающей» ту машину, которая выполняет некоторые мыслительные функции человека. Но это ни в какой мере не продвинет вперед поставленный выше вопрос о том, способна ли машина мыслить. Когда спрашивают, думает ли машина, то имеют в виду не мышление в каком-нибудь особом, узкоспециальном, условном понимании этого слова, а мышление именно в том смысле, в каком это качество присуще людям. Утвердительный ответ на такой вопрос обязательно предполагает, что данная машина обладает всеми теми свойствами, которые характеризуют мышление думающих существ, т. е. людей.

Чем же характеризуется мышление человека? В каких случаях мы можем сказать, что человек думает?

Представим себе альпиниста, уверенно идущего по крыше высокого дома, и, с другой стороны, лунатика, который так же спокойно совершает эту прогулку. Чем отличаются друг от друга эти два человека? Поведение у них может быть одинаковым. Различие же заключается во внутреннем состоянии каждого из них. Первый понимает, что он делает, с какой целью он идет, второй не имеет об этом ни малейшего представления. Первый *осознает* себя, второй действует *бессознательно*. О первом говорят, что он *думает*, когда идет, тогда как о втором никому не придет в голову сказать, что во время своего путешествия по крыше он мыслит.

Таким образом, существенным признаком мышления является его связь с сознанием. Именно наличие или отсутствие сознания дает основание считать человека думающим или не думающим в данный момент. Что же касается результатов его действий, то они с этой точки зрения имеют второстепенное значение. Иногда бессознательное поведение, действия, над которыми человек не думает, приводят не только не к худшим, но даже к лучшим результатам, чем осознанные. Если альпинист,

имеющий соответствующие навыки, еще может соревноваться с лунатиком в ловкости ходьбы по крышам, то человек нетренированный, который *думает* над каждым своим шагом, тщательно выбирая место, куда можно ступить, выглядит совершенно беспомощным по сравнению с ним.

Итак, понятие мышления связывается не с *результатами, которые выполнены при его участии* и могут быть как хорошими, так и плохими, а с *тем, насколько эти действия осознаются*.

Поскольку наличие сознания является необходимым условием мышления, решение вопроса о том, способна ли машина думать, зависит от ответа, может ли у нее появиться сознание. Тот факт, что машина выполняет некоторые действия человека, не доказывает, конечно, что у нее есть сознание, поскольку сам человек часто производит те же действия совершенно бессознательно.

Но если машина, не имея сознания, действует не хуже, а иногда и лучше самого человека, так имеет ли смысл выяснять, может у нее возникнуть сознание или нет? Смысл в этом, конечно, есть, и очень большой. С понятием сознания связано очень многое. Например, долг, нравственность, ответственность за преступления и т. д. существуют лишь постольку, поскольку люди имеют сознание. Машины или маленькие дети не несут никаких наказаний, какое бы страшное преступление они ни совершили. Ответственность за них лежит на тех, кто управляет машинами, и на родителях. Но, если бы машина сама получила сознание, тогда положение должно было бы полностью измениться: в той мере, в какой она стала сознательной, она несла бы ответственность за свои действия.

Сознание и материя

Чтобы ответить на вопрос, может ли машина в принципе иметь сознание, необходимо выяснить отношение сознания к материи. Можно ли рассматривать сознание как нечто материальное, как особый материальный процесс?

Существуют философы, которые отвечают на этот вопрос утвердительно. Французский врач и философ XVIII в. Пьер Кабанис, например, утверждал, что мозг выделяет мысль подобно тому, как печень выделяет желчь. Такие взгляды развивались и в дальнейшем. Естествоиспытатели XIX в. Бюхнер, Фохт и Молешотт сводили мышление к различным физико-химическим

процессам в мозгу. С этой точки зрения вполне возможно допустить, что при достаточно высоком уровне развития техники будут созданы машины, думающие в полном смысле этого слова, поскольку между материальным сознанием и другими материальными процессами в машине никакого принципиального различия нет.

Такое понимание сознания, как производного от материи, как порождения материального органа — мозга, является материалистическим. Но сам процесс его порождения рассматривается здесь слишком упрощенно. Поэтому Ф. Энгельс назвал это направление вульгарным материализмом. Сущность этого упрощения вскрыл В. И. Ленин в своей работе «Материализм и эмпириокритицизм». Он подчеркнул, что, хотя мышление, сознание является результатом деятельности мозга, его не только нельзя считать каким-то особым веществом, вроде желчи, но оно вообще не материально.

Почему же сознание, продукт материального органа — мозга, само не является материальным?

Материя определяется В. И. Лениным как объективная реальность, данная в ощущениях. Существовать объективно — это значит быть независимой от человека, от его воли и желаний, от того, есть он вообще или нет. Сознание же существует не независимо от человека, а лишь постольку, поскольку имеется человек. Нет человека — нет и сознания. Оно не является объективной реальностью, следовательно, его нельзя считать материальным.

Сознание не обладает и вторым важным свойством материи: оно не воспринимается в ощущениях. Свое сознание мы не ощущаем, как, скажем, цвет или запах. Вместе с тем в наших ощущениях нет и сознания других людей. Мы можем воспринимать внешность другого человека, даже его внутренние органы, его мозг, но не сознание. Человек испытывает сильную боль, мы видим, как искажаются черты его лица, но боли, которую он испытывает, мы не ощущаем.

Если сознание не материально, не означает ли это, что оно образует особый мир, не зависящий от материи?

Существует философское направление, которое отвечает на этот вопрос утвердительно. Оно признает два независимых друг от друга начала: материю и сознание. Наиболее крупным представителем этого направления,

называемого *дуализмом* (от латинского слова duo — два), был французский философ Р. Декарт. В настоящее время много дуалистов среди зарубежных философов и психологов.

Дуализм часто перерастает в *идеализм*, с точки зрения которого сознание стоит не только вне материи, но и над материей, является основой мира и творит саму материю. Этот взгляд смыкается с религией, с верой в существо, стоящее над всем миром, с признанием бога.

Дуализм и идеализм противоречат данным науки, согласно которым сознание не существовало вечно. Труды Ч. Дарвина показали, что сознание возникло лишь на определенном этапе развития материи, когда из мира животных выделился человек. Физиология высшей нервной деятельности, в особенности работы школы И. П. Павлова убедительно доказали, что сознание является результатом деятельности материального органа — мозга. Было дано естественнонаучное обоснование материалистического решения вопроса о соотношении материи и сознания, с точки зрения которого сознание рассматривается как нечто вторичное, производное от материи.

Признавая вторичность сознания по отношению к материи, диалектический материализм, в отличие от вульгарного материализма, не сводит первое ко второму. Сознание само по себе не материально, но оно появилось в результате длительного развития материи — так решает проблему соотношения материи и сознания диалектический материализм.

С точки зрения дуализма и идеализма, на вопрос о возможности построения «думающих» машин может быть дан только отрицательный ответ. Если сознание чуждо материи, оно не может быть присуще такой грубо материальной вещи, как машина. Давая такой ответ, представители этих двух направлений подвергают критике творцов кибернетики за их стремление создать машины, способные заменить человека в его умственной деятельности. Вместе с тем они стремятся использовать данные кибернетики для обоснования своих взглядов на природу сознания.

Информация и материя

Западногерманский философ-идеалист Э. Васмут осуждает кибернетику за то, что она пытается свести жизнь к машине и освободить тем самым человека от ответственности перед богом. Обвиняя кибернетику в материализме,

он вместе с тем стремится доказать, что в ней самой есть такие черты, которые опровергают материализм. Исходя из положений кибернетики, Васмут хочет показать, что жизнь не определяется законами материи, а имеет в себе нечто божественное. При этом он использует отдельные выражения Н. Винера, относящиеся к анализу понятия информации.

В каком отношении находятся информация и материя? Можно ли считать, что информация материальна? Мы видели, что свойства информации коренным образом отличаются от свойств материи. Если перенести какое-то количество материи из одного места в другое, то этой части ее уже не будет в том месте, где она была раньше. Совсем иначе обстоит дело в отношении информации. Очень часто можно слышать выражение «Он отдает все свои знания». Передача знаний — это передача информации. Но это своеобразная передача. «Отдав все свои знания», человек при этом не лишается их сам, в отличие от того случая, когда он отдает какую-то материальную вещь. Наоборот, его знания становятся после этого еще более прочными.

Информацию нельзя отождествлять также и с энергией. Следует отличать информацию от ее носителя, от того сигнала, с помощью которого она передается. Звуковые колебания обладают определенной энергией, но сами они, как указывалось выше, являются не информацией, а лишь ее носителями.

Из всего этого Винер заключает, что «информация — это информация, а не материя и не энергия». Васмут делает отсюда вывод, что информация совершенно выделяется из материального мира и является свойством особой нематериальной, духовной субстанции. Это духовное начало присуще только живым существам. Поэтому не может быть речи о передаче информации в материальных предметах, какими являются машины. Таким образом, кибернетика лишается своего важнейшего теоретического обоснования и теряет всякий смысл.

Однако с материей связано отнюдь не только то, что само является материей. Положение Н. Винера о том, что информация не есть материя, вовсе не означает полной их изолированности друг от друга. Наоборот, они могут быть теснейшим образом связаны между собой. Информация есть особый тип соотношения между мате-

риальными процессами, которого не существует вне этих процессов. Звуковые колебания и другие материальные средства передачи сигналов сами по себе не являются информацией, но без них она невозможна. Наличие материальных сигналов является необходимым условием получения информации. Это значит, что информация в конечном счете есть не что иное, как определенное свойство материи.

Проблема времени

Очень многие вопросы кибернетики связаны с такой важной философской категорией, как время. Н. Винер свою основную книгу о кибернетике начинает с анализа философской проблемы времени. Он выделяет два типа времени. Одно относится к механическим явлениям и представляет собой последовательность состояний, которые принимают различные механические системы, например последовательность состояний брошенного мяча, положений планет относительно Солнца и т. д. Это время обладает интересной особенностью. Если изменить направление последовательности состояний на прямо противоположное, то законы протекания данного механического явления не изменятся. Представьте, что кинофильм, в котором заснято движение планет вокруг Солнца, по ошибке пустили в обратном направлении. В этом случае никакие механические закономерности не будут нарушены. Планеты по-прежнему будут вращаться по эллипсам, квадраты времен обращения будут пропорциональны кубам средних расстояний от Солнца. Вы поздоровались с приятелем за руку, совершив вместе определенную совокупность движений. Если проделать эти движения в обратном порядке, они в такой же мере будут согласовываться с механическими законами, как и первоначальные. И так во всех тех случаях, когда речь идет о движении чисто механического характера.

Рассмотренное свойство времени, возможность замены его направления без изменения сущности протекающих в нем явлений называется *обратимостью.*

Механическое время, обладающее свойством обратимости, Винер называет ньютоновским.

Время, связанное с жизненными процессами, в отличие от механического, не обладает свойством обратимости. Здесь нельзя менять последовательность событий без искажения сущности соответствующих

явлений. Оно течет в одном направлении и необратимо.

Поскольку в механических и биологических явлениях имеют место разные типы временных связей, то совершенно очевидно, говорит Винер, что воспроизвести сущность жизни механическими способами невозможно; идея механического человека есть не что иное, как утопия.

Однако необратимость времени не является особенностью только жизненных процессов. Она, как указывает Н. Винер, характерна также для многих явлений неживой природы. Такие явления изучаются в статистической физике. Выше мы говорили о том, что физические системы переходят от менее вероятного состояния к более вероятному: например, два газа, заключенные в одном сосуде, стремятся перемешаться между собой, так что энтропия растет. Если бы нам показали, скажем, в кино сосуд с двумя газами, из которых один сам по себе отходит вправо, а другой сдвигается влево, мы не восприняли бы это как нечто естественное и поняли бы, что кинопленка движется в обратном направлении.

Следовательно, необратимость является более общим свойством времени, чем обратимость. Последняя присуща только механическим явлениям, которые представляют собой в этом отношении исключение из общего правила.

Н. Винер стремится преодолеть разрыв между тем и другим временем, установить связь между ними, поскольку кибернетика должна дать теоретическое основание для конструирования машин, выполняющих ряд функций живых организмов. Э. Васмут, рассматривая проблему времени, стремится, наоборот, углубить пропасть между механическими и живыми организмами, выдвинув для этой цели теорию так называемого двухмерного времени.

Что такое одномерное и двухмерное время, что значит вообще измерение времени? Известно, что в пространстве любой предмет имеет три измерения: длину, ширину и высоту. Любую точку пространства можно характеризовать тремя числами — координатами. В отношении времени дело обстоит иначе. Все моменты времени, в отличие от точек пространства, можно расположить в один ряд, так что каждый из них будет предшествовать одному моменту и следовать за другим. Изображая множество моментов времени на бумаге, чертят одну прямую

линию — ось времени, по которой время течет всегда в одну только сторону, в одном направлении.

По мнению Э. Васмута, все эти свойства времени присущи лишь материальным процессам. Что же касается идеальных явлений, мира живых существ, связанного с действием божества, то он развивается в другом, двухмерном времени. Это второе измерение Васмут связывает с понятием информации.

Поведение машины в каждый данный момент определяется ее предшествующим состоянием и в свою очередь обусловливает ее действие в следующий. Каждое состояние определяется предыдущим и обусловливает последующее. Отсюда одномерность обычного, так называемого механического времени. Человек, в отличие от машины, получает сигналы не из прошлого, а из будущего; он действует на основе той информации, которую дают ему будущие, еще не происшедшие события. Сюда относятся разного рода предчувствия, страх смерти и т. д. В качестве примера Васмут ссылается на Сократа, который, будучи приговорен к смертной казни, отказался бежать из тюрьмы якобы потому, что голос из будущего ему не советовал этого делать. Вся эта информация идет, согласно Васмуту, от бога.

С течением времени информация может не только не уменьшаться, но увеличиваться, чем дальше, тем больше, в то время как материальные явления развиваются в направлении возрастания не информации, а энтропии. Для них будущее там, где больше энтропии, тогда как в духовных явлениях наоборот, будущее там, где больше информации.

Поскольку жизнь связана не только с идеальными, но и с материальными явлениями, для жизненных процессов нужны две оси времени, одна — в направлении роста энтропии, другая — в направлении роста информации. Каждый момент времени определяется по обеим осям, имеет две координаты, подобно точке на плоскости.

Таким образом, Васмут и др. доказывают, что время так же двухмерно, как двухмерна поверхность в пространстве. Все материальное оказывается лишь проекцией настоящей духовной реальности на одну из осей времени. Машина, в частности, работает в одномерном времени. Следовательно, ей недоступно выражение сущности жизни и сознания. Она так же искажает действительность, как

изображение куба на бумаге искажает его объемную природу. Итак, жизненные процессы протекают, согласно Васмуту, в двухмерном времени, которое связывается непосредственно с понятием информации.

Поведение животных и человека действительно определяется той информацией, которую они получают. Но они берут ее не из будущего, не из откровений, а из материальных явлений прошлого и настоящего. По прошлому и настоящему они судят о будущем. Например, зная по прошлому опыту, что при наличии таких-то условий наступала буря, и видя в настоящем данное сочетание условий, люди предсказывают наступление бури.

Подобного рода расчеты может производить не только человек, но и машина. В возникновении кибернетики большую роль играла проблема предсказания будущего с помощью автоматических приборов, о чем уже говорилось в связи с определением положения самолета в воздухе. Винер считает, что, предвидя будущее, машина выполняет одну из важнейших человеческих функций.

Но, если машина дает определенные сведения о будущем, значит ли это, что она переселяется в особый духовный мир, в котором время имеет два измерения? Конечно, нет. Давать информацию о будущем — это совсем не то, что получать ее из будущего. Предсказание будущих событий не создает нового измерения времени. Нет этого второго измерения и в тех случаях, когда будущее предсказывается самим человеком на основании данных о настоящем и прошлом. Процедура определения будущего в обоих случаях одинакова.

Необходимо отметить, что аргументация сторонников двухмерного времени для живых существ, различение ими двух осей времени — одной, связанной с ростом энтропии, другой — с ростом информации и, следовательно, снижением энтропии, — основаны на смешении двух понятий энтропии: энтропия в смысле термодинамики и энтропия в теории информации; как было показано выше, математически та и другая энтропия выражается аналогично. Но это не значит, что они одинаковы по своей физической природе. Васмут же рассуждает так, как будто в обоих случаях имеет место одна и та же энтропия. Рост информации о будущем событии связан не с тем, что уменьшается физическая энтропия, а с тем, что с течением вре-

мени мы можем получить все больше и больше сведений о будущем. Так что попытки поставить сознание над материей и использовать для этой цели кибернетику лишены всякого основания.

Дуализм

Если у идеалистов сознание играет определяющую роль, то у дуалистов сознание и материя более или менее равноценны. С этой точки зрения они подходят и к проблемам кибернетики. Они допускают, что машина (конечно, не современная, а машина отдаленного будущего) может иметь в точности такой же внешний вид, физическое устройство и поведение, как и человек. Однако при этом у машины никогда не может возникнуть сознания. Какой бы сложной ни была машина, все равно она представляет собой совокупность каких-то материальных процессов, и в этом плане нет никакого различия между машиной будущего, современной счетной машиной и первобытным абаком. В машинах могут быть не мысли, а только их материальные соответствия, знаки. В них происходят некоторые физические операции, соответствующие мыслительным, но не само мышление. Машина не в состоянии ни заменить, ни тем более превзойти человека, лишь один конструктор может превзойти другого. Не машина думает за человека, а человек думает при помощи машины, подобно тому, как он может поехать гулять на автомобиле, но даже самый лучший автомобиль не способен гулять за человека. Машина ничего не может знать, так как знание связано с сознанием, а сознание ей недоступно принципиально.

Таким образом, какую бы сложность ни приобрела материя, каково бы ни было ее физическое строение, какими бы качествами она ни обладала, сознание, с точки зрения дуализма, в ней появиться не может. Возникает вопрос: каким образом вообще появилось сознание? Если оно возникло из материи, значит, существовали такие ее состояния, которые могли породить сознание. Но если такие состояния были раньше, так почему не допустить возможности их появления в будущем? Если материя породила сознание в прошлом, оно может при соответствующих условиях возникнуть из нее и в будущем. Конечно, речь идет лишь о принципиальной стороне этого вопроса. Практически потребовались бы, может быть, миллионы или сотни миллионов лет, прежде

чем человек смог бы создать необходимые для этого условия. Но все же этот срок должен быть гораздо короче того, который потребовался природе. Человек в своей деятельности опирается на сознание, природа же действовала бессознательно.

Если причина вызывает данное действие, то при повторении причины должно повториться и действие. Отрицание второго отрицает и первое. Отвергая принципиальную возможность искусственного сознания, авторы, о которых идет речь, не признают тем самым и того факта, что когда-то оно уже было порождено материальными процессами. Следовательно, сознание возникло независимо от материи; оно образует совершенно отдельный мир, особую область, так же как, с другой стороны, материя существует независимо от сознания. В этом признании двух самостоятельных, равноправных начал, материального и духовного, и состоит сущность дуализма.

Сознание и поведение

Отрицая принципиальную возможность появления сознания в машинах, дуализм признает, однако, вполне вероятным создание таких машин, поведение которых полностью, *в совокупности всех своих черт* было бы одинаково с поведением человека.

К чему же приводит такая точка зрения?

Никто не сомневается в наличии сознания у самого себя. Каждый человек уверен, что у него есть желания, воля и т. д. Но каким образом он может знать о сознании других людей? Свое сознание он, так сказать, переживает непосредственно в своей психике. Но ведь психику, сознание других он не может ощущать непосредственно. Единственным показателем внутреннего состояния других людей является для него их поведение, внешние проявления тех или иных их психических состояний. Наблюдая внешнее поведение других, человек обнаруживает в нем много общего со своим собственным и по этому общему заключает об их внутреннем состоянии. Например, он знает, что, коснувшись нечаянно горячего предмета, он отдергивает руку, потому что ему больно. Другие в этих случаях отдергивают руку точно так же, как и он. Следовательно, им тоже больно. Когда ему весело, он улыбается, смеется, поет. Поэтому, видя другого смеющегося человека, он решает, что тому тоже весело.

Но если вслед за дуализмом признать, что все поведение двух разных существ может быть совершенно одинаковым независимо от их внутреннего состояния, независимо от того, есть у них сознание или нет, то отсюда следует, что люди делают ошибку, заключая о наличии сознания у других на основании их внешнего поведения. Мы не можем с этой точки зрения быть уверенными в том, что все другие люди, так же как и мы, имеют желания и волю, испытывают горе и радость, способны рассуждать и т. д. С равной вероятностью можно допустить как то, что они наделены таким же сознанием, как и мы сами, так и то, что они представляют собой неодушевленные автоматы, только очень искусно сделанные.

Таким образом, став на дуалистическую точку зрения, мы приходим к весьма странным выводам. Правда, большого значения это сейчас не имеет. Практически каждый человек убежден в том, что не только он сам, но и другие люди имеют сознание. Но при известных обстоятельствах вопрос о том, как определить, имеет ли данное существо сознание или нет, может приобрести большое практическое значение. Представим себе, что люди с Земли прибывают на какое-то другое небесное тело. Там им встречаются существа, похожие на людей по своему внешнему облику и поведению. Должны ли люди относиться к ним как к сознательным существам, подобным нам, или они могут допустить возможность того, что видят перед собой потомство автоматов, сооруженных либо обитавшими здесь когда-то сознательными существами, либо гениальными представителями какой-нибудь другой планеты? От того или другого решения этой проблемы будут зависеть все их дальнейшие взаимоотношения. Дуалистическое воззрение исключает возможность ответа на этот вопрос.

Такой ответ дает точка зрения диалектического материализма. Сознание само по себе не материально, но оно порождено материей на определенном этапе ее развития. Если в другом месте и в другое время создадутся те же условия, при которых когда-то возникло сознание, оно снова может появиться из неживой материи. «У нас есть уверенность, — пишет Ф. Энгельс, — что материя... с той же самой железной необходимостью, с какой она когда-нибудь истребит на земле свой высший цвет —

мыслящий дух, она должна будет его снова породить где-нибудь в другом месте и в другое время»[1].

Могут ли быть созданы такие условия искусственно? Диалектический материализм не дает категорического отрицательного ответа на этот вопрос. Все зависит от конкретных условий, от развития знаний и техники. Сознание не образует замкнутой области. Оно вызывается определенными материальными причинами и в свою очередь влияет на материальный процесс, поскольку всякое действие вызывает обратное влияние на породившие его причины. Если в каком-либо существе возникло сознание, то это неизбежно должно как-то проявляться в материальных явлениях, т. е. в поведении этого существа. При этом имеется в виду поведение в *целом*, со всеми его особенностями, а не отдельные его черты. Человек, который хочет показать себя не тем, что он есть на самом деле, может в принципе воспроизвести любую отдельно взятую черту того, кого он изображает. Но в его общем поведении рано или поздно обязательно проявятся такие стороны, которые обнаружат обман. То же самое можно сказать об автоматах. Как бы точно они ни воспроизводили каждое отдельное действие сознательных существ, в их поведении неизбежно должны обнаружиться такие черты, в которых проявится отсутствие у них сознания.

Каким же путем можно добиться того, чтобы таких черт не обнаруживалось, чтобы в материальном объекте действительно появилось сознание? Пригоден ли для этой цели тот путь, по которому идет кибернетика, приближает ли нас к искусственному мозгу тот факт, что многие черты поведения сознательных существ уже воспроизведены в машине?

Почему невозможен электронный мозг?

Пьер Латиль в своей книге «Искусственная мысль» приводит интересный пример. Допустим, говорит он, что в будущем человек сконструирует искусственный мозг, который сможет решать самые разнообразные и сложные задачи, казалось бы решительно ни в чем не уступая мозгу живого человека. И вдруг к машине подходит мальчик и просит ее поиграть с ним, скажем, в прятки. Машине придется отказаться: она не умеет играть в прятки.

[1] *Ф. Энгельс*, Диалектика природы, 1955, стр. 19.

Почему же для сложнейшего механизма, способного выполнять множество самых трудных действий, оказалась невыполнимой задача, с которой легко справляется любой ребенок?

Объясняется это очень просто. Машина создана человеком и может делать только то, что он запрограммировал для нее. Очевидно, игра в прятки не была предусмотрена программой. Конечно, после того, как с машиной произошел такой «конфуз», конструкторы новых машин, вероятно, постараются восполнить этот пробел в программе. Однако гарантирует ли это от новых неожиданностей? Конечно, нет. Всегда могут обнаружиться вопросы, на которые легко ответит любой человек, а машина ответить не сможет.

Но почему? Разве нельзя предусмотреть заранее все, вплоть до мелочей? Нет, *все* предусмотреть нельзя. Это было бы возможно, если бы речь шла о предмете, имеющем вполне определенное число признаков, каждый из которых можно моделировать и воспроизвести в машине. Но такой сложный предмет, как мозг человека, обладает не ограниченным, а бесконечным количеством свойств. Создать его искусственно, воспроизводя в отдельности каждое из этих свойств, конечно, невозможно: нельзя предусмотреть все признаки, если их бесчисленное множество.

Когда мы видим два экземпляра книг одного и того же тиража или два ключа от одного и того же замка, мы говорим, что перед нами одинаковые книги или одинаковые ключи. В действительности, если учесть все свойства этих предметов, одинаковыми их считать нельзя. Любые два предмета, как бы они ни были похожи, всегда различаются между собой в тех или иных деталях. Но с точки зрения практического назначения предметов эти детали могут быть совершенно несущественны. Поэтому о двух ключах, посредством которых отпирают один и тот же замок, можно сказать, что они одинаковы, так же как можно считать одинаковыми две книги, если они содержат один и тот же текст, имеют одинаковые переплеты, формат или другие интересующие в данный момент признаки.

Ключ, книга практически представляют собой комплекс вполне конечного числа свойств. Совсем другое дело — мозг человека. Если хотят воспроизвести его

искусственно так, чтобы он не отличался от живого, необходимо запрограммировать все без исключения его возможности, вплоть до таких, как игра в прятки. В этом случае мы имеем дело с бесконечным числом признаков не только с принципиальной, но и с практической точки зрения. Предусмотреть же бесчисленное множество признаков невозможно. Поэтому невозможно и создание искусственного мозга таким путем.

Проблему искусственного изготовления предмета можно было бы решить путем воспроизведения не всех, а только некоторых его свойств, если бы этими свойствами обусловливались остальные. Таким образом может быть создан, например, искусственный символический логик. Машина в состоянии осуществлять импликацию и другие сложные логические операции, если она умеет производить отрицание, дизъюнкцию и конъюнкцию, к которым эти операции сводятся. Но искусственный символический логик как таковой это еще далеко не искусственный человек. Если машина хорошо умножает и складывает, то отсюда не следует, что она умеет играть в прятки и, тем более, что она может *захотеть* играть или поспешит к человеку, который зовет на помощь.

Можно предположить, что различие здесь не принципиальное, а только количественное. Искусственный мозг заключает в себе тысячи электронных ламп, тогда как мозг человека состоит из многих миллиардов нервных клеток — нейронов. Может быть, авторы проектов электронного мозга правы, говоря, что для того, чтобы полностью воспроизвести человека, достаточно сконструировать такую машину, которая содержала бы миллиарды ламп (или других, заменяющих их элементов)? Конечно, сейчас это практически неосуществимо, но почему не предположить такую возможность в будущем? В принципе она вполне реальна. Число элементов можно увеличивать до бесконечности. К тому же существует, как известно, некоторая «избыточность» в действии машины, когда она решает такие задачи, для которых непосредственно не приспособлена. Например, машина, предназначенная для умножения и сложения, выполняет, как уже говорилось, и логические операции.

Но будут ли все действия такой сверхсложной машины по-настоящему человеческими?

Отвечая на этот вопрос, необходимо прежде всего подчеркнуть тот факт, что элементы, которые входят в состав машины, *качественно* разнородны с нейронами, из которых состоит мозг. Нервные клетки мозга — это сложнейшие белковые вещества. Электронные лампы или заменяющие их полупроводниковые элементы — неорганическая материя. Кибернетика отвлекается от качественного своеобразия вещей, для нее, как указывалось выше, существенны только отношения между ними. Не важно, *что* функционирует, важно, *как* функционирует. Специалист-кибернетик с одинаковым успехом может назвать нейроном электронную лампу, полупроводниковый элемент, живую клетку и вообще что угодно, лишь бы оно могло находиться в двух состояниях и было определенным образом связано с другими такими же элементами.

Разные объекты действительно могут выполнять одинаковые функции. На этом основана правомерность кибернетики как науки. Но такой подход имеет границы своей применимости. Могут ли качественно разные вещества или, как говорят, разные субстраты функционировать одинаково во *всех* отношениях, а не только в одном-двух? Деятельность нервной системы, в том числе мозга человека, определяется, конечно, прежде всего соотношениями между его нейронами. Но эти соотношения в процессе жизни постоянно изменяются. Человек стареет, многие функции нервных клеток нарушаются и в 70—90 лет нередко перестают функционировать. Почему это происходит? Почему функции нейронов нарушаются при таких температурных изменениях, которые не оказывают никакого влияния на электронные лампы? Почему нервные клетки не могут функционировать без определенных питательных веществ, которые совершенно не нужны для ламп, и наоборот? Очевидно, дело не только в характере отношений между нейронами и между лампами, но и в свойствах тех веществ, из которых они состоят.

Поскольку элементы машины сами по себе не обладают этими свойствами, то для того, чтобы их заменить, для каждого отдельного свойства придумываются *специальные устройства*. Например, в «черепахах» Уолтера, о которых мы говорили, для движения вперед и назад сконструирован моторчик и для движения вправо и влево

есть руль и особый моторчик, который его поворачивает. Конечно, ничего подобного нет в настоящей черепахе. Второй моторчик можно было бы чем-нибудь заменить, но это была бы замена одного специального устройства другим специальным устройством. Число этих приспособлений все увеличивается и увеличивается по мере того, как в машине воспроизводятся все новые и новые свойства человека. Но приближается ли машина к человеку с каждой вновь приобретенной ею функцией? Это было бы так, если бы выражение одних функций в машине не мешало выражению других. Для каждой функции требуется специальное приспособление. Но наличие нового устройства создает в машине какое-то новое свойство, которого нет в мозгу. Это значит, что, *чем больше функций мозга воспроизводится в машине, тем больше в ней оказывается свойств, отличающих ее от мозга.* Новые свойства, естественно, создают новые функции. Таким образом, каждая воспроизведенная в машине функция ведет к возникновению у нее других функций, которыми не обладает мозг. Чем дальше, тем больше появляется в машине таких моментов, которые отличают ее деятельность от деятельности мозга: чем ближе к мозгу, тем дальше от него.

Возьмем такой пример. Конструктор хочет устроить машину так, чтобы она, подобно человеку, в возрасте приблизительно 70 лет умирала. Как это сделать? Автор одного из разбираемых выше проектов «полного» робота Калбертсон предлагает связать каждую клетку с динамитным зарядом и часовым механизмом так, чтобы через 70 лет после создания робота динамит взорвался. Таким образом предполагалось воспроизвести в машине функцию умирания человека.

Не будем говорить о том, что гибель робота от взрыва динамита очень мало похожа на тот постепенный процесс угасания, каким является смерть человека. Обратим внимание лишь на то, что в данном случае робот не только получает способность «умереть» в 70 лет, но и приобретает некоторые другие свойства, существенно отличающие его от человека. Например, человек может довольно безопасно для себя поскользнуться и упасть. А если упадет робот, в каждой клетке которого заложен динамит, тогда произойдет детонация и он взорвется. Правда, можно придумать специальное устройство, предотвра-

щающее взрыв, или заменить динамит другим, более подходящим веществом. Но тогда, очевидно, появятся другие свойства, которые опять-таки придется компенсировать с помощью особых приспособлений, и т. д.

Мозг, как уже говорилось, содержит огромное количество нейронов. Это необходимо для выполнения его сложной работы. Стремясь воспроизвести в машине все его функции, человек создает в ней такое свойство, как огромные размеры, которое также отличает ее от мозга. Мозг человека помещается в черепе, а электронный мозг был бы равен по размерам колоссальному небоскребу. Это обстоятельство, конечно, не может не мешать такой машине функционировать, как человек. Вряд ли она смогла бы играть в прятки, даже если бы и знала эту игру. Поэтому авторы проектов включают в число обязательных требований к элементам будущего искусственного мозга маленький размер ячеек. Но это уже требование отнюдь не формального порядка. Оно относится не к форме соединения ячеек, а к их *субстрату*, *к свойствам вещества*, *из которого они состоят*. Чтобы удовлетворить это требование, необходимо *изменить материал*, из которого изготовляются элементы конструируемой машины. Кроме маленьких размеров эти элементы должны обладать и другими свойствами, присущими клеткам мозга: гибкостью, способностью к регенерации (восстановлению), к обмену веществ и т. д.

Короче говоря, чтобы искусственный мозг функционировал так же, как естественный, необходимо, чтобы его элементы — ячейки функционировали так же, как элементы естественного мозга — нейроны. А это возможно лишь в том случае, если все физические, химические и другие свойства искусственных и естественных нейронов одинаковы. Следовательно, чтобы создать машину, функционирующую, как мозг, нужно сделать ее из вещества, которое обладает этими свойствами,—не из электронных ламп или полупроводниковых элементов, а из высокоорганизованных белковых соединений, какие образуют естественный мозг.

Калбертсон и другие авторы проектов мозга неправильно понимают соотношение функции и субстрата, формы и содержания. Они исходят из того, что функционирование всякой системы всецело определяется соотношениями ее элементов, могущих находиться в двух

состояниях, и различными комбинациями воздействий, возбуждающих соответствующие клетки. Между тем функции системы зависят не только от отношений между элементами, но и от свойств вещества, из которого они состоят, т. е. от их субстрата. Поэтому каждый из этих элементов может находиться не в двух, а в гораздо более многообразных состояниях.

В итоге всего сказанного мы должны сделать вывод, что электронная машина в *принципе* не может полностью заменить мозг человека. Нет ли здесь противоречия с критикой в адрес скептиков, ограничивающих возможности развития кибернетики?

Противоречия здесь нет. Речь идет в данном случае не о принципиальных границах познания и возможностей человеческого разума, а только об определении путей, по которым нужно следовать. То, что нельзя сделать одним способом, нужно пытаться сделать другим. При создании копии того или иного предмета существуют две возможности. В одном предмете может быть точно или более или менее точно воспроизведена какая-то одна сторона, черточка, функция другого. Предметы в целом могут при этом иметь между собой очень мало общего по своему существу. О такого рода сходстве, называемом *аналогией*, уже говорилось. Аналогичны друг другу карта и изображаемая ею местность, предмет и его фотография, крылья летучей мыши и крылья птицы и т. д. В других случаях сходство проявляется в большом числе существенных признаков, хотя эти признаки и не воспроизводятся точно в том и другом предмете. Эти предметы могут быть мало похожи внешне, но они очень сходны по существу. Такое сходство называется *гомологией*. Гомологичны, например, крылья летучей мыши и лапы полевой мыши. Внешне крылья летучей мыши больше похожи на крылья птицы, чем на лапы полевой мыши, но по существу они гораздо ближе к лапам полевой мыши, чем к крыльям птицы, как и вообще летучая мышь по своим существенным признакам гораздо ближе к полевой мыши, чем к птице.

Чтобы создать искусственный мозг, нужно идти не по пути аналогии, по которому идет кибернетика, а по пути гомологии, по которому идет биология. Изготовляя искусственные органические вещества, биология постепенно продвигается в направлении, ведущем к решению этой

задачи. Бутылка органической жидкости в руках биолога значительно ближе к мозгу, чем самая совершенная электронная машина.

Кибернетическое устройство ни в настоящем, ни в будущем нельзя рассматривать как мозг. Поэтому оно не может обладать и свойством, характеризующим эту наиболее высокую ступень развития материи, — сознанием. Поскольку машина не имеет сознания, нельзя говорить, что она мыслит в том смысле этого слова, которое имеется в виду, когда говорят о мышлении человека.

Однако машина может с успехом воспроизводить отдельные функции, которые выполняет сознание и мысль человека. В этом направлении у кибернетики неограниченные перспективы развития. Сконструированные на ее основе машины уже сейчас решают такие задачи, с которыми не справляется человек. В этом смысле они «умнее» человека. И чем дальше, тем они будут еще «умнее». Человек «научит» машины решать все новые и новые проблемы, быстрее и лучше, чем это может сделать он сам. Кибернетики не должны тратить силы и время на достижение утопической цели — сделать электронного человека, умеющего играть в прятки. Их задача — создавать для человека в самых различных областях его деятельности — технике, математике, логике, медицине, метеорологии — могущественных помощников, все более многочисленных и более совершенных.

СОДЕРЖАНИЕ

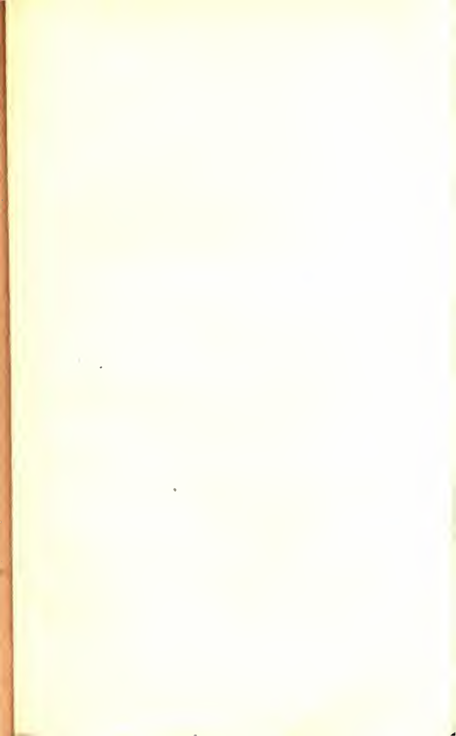
Ровенский Зиновий Ильич
Уемов Авенир Иванович
Уемова Екатерина Андреевна
МАШИНА И МЫСЛЬ
(философский очерк о кибернетике)

Редактор *Э. Струков*
Художник *Е. Васильев*
Художественный редактор *С. Голубев*
Технический редактор *А. Данилина*
Ответственные корректоры: *Л. Комарова* и *Е. Костюченко*

Сдано в набор 6 января 1960 г. Подписано в печать 26 марта 1960 г.
Формат $84 \times 108^1/_{32}$. Физ. печ. л. $4^1/_2$. Условн. печ. л. 7,38. Учетно-изд. л. 7,53. Тираж 50 тыс. экз. А 01557. Заказ № 21. Цена 1 р. 75 к.

Госполитиздат, Москва, Д-47, Миусская пл., 7.

Первая Образцовая типография имени А. А. Жданова
Московского городского совнархоза. Москва, Ж-54, Валовая, 28.



1 р. 75 к.

ГОСПОЛИТИЗДАТ · 1960

